

ГОДИШНИК
НА
МИННО-ГЕОЛОЖКИЯ УНИВЕРСИТЕТ
«СВ. ИВАН РИЛСКИ» - СОФИЯ
Том 48

***СВИТЪК III: МЕХАНИЗАЦИЯ,
ЕЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ
НА МИНИТЕ***

ANNUAL
OF
UNIVERSITY OF MINING AND GEOLOGY
“ST. IVAN RILSKI” – SOFIA
Volume 48

***PART III: MECHANIZATION, ELECTRIFICATION AND
AUTOMATIZATION IN MINE***



ISBN 1312-1820

Издателска къща “Св. Иван Рилски”
Publishing House “St. Ivan Rilski”
София, 2005
Sofia, 2005

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

доц. д-р Венцислав Иванов – главен редактор
доц. д-р Страшимир Страширов – зам. главен редактор
доц. д-р Вяра Пожидаева – председател на редакционен съвет
доц. д-р Руслан Костов - председател на редакционен съвет
доц. д-р Кръстю Дерменджиев - председател на редакционен съвет
доц. д-р Андрей Рождественский - председател на редакционен съвет
инж. Зоя Велева

РЕДАКЦИОНЕН СЪВЕТ

на Свитък III – Механизация, електрификация и автоматизация на мините

доц. д-р Вяра Пожидаева – председател
проф. д-р Славчо Дончев
доц. д-р Кънчо Иванов
доц. д-р Величка Ангелова
доц. д-р Мария Минчева
доц. д-р Евтим Кърцелин

СЪДЪРЖАНИЕ

Илия Йочев	Проблеми при добива и обработването на мраморен брекчоконгломерат от находище “Дълга усойка”	7
Антоанета Янева Илия Йочев	Особености при изпитване на работоспособността на спирачната система на руднична подемна уредба с триеща шайба	13
Антоанета Янева	Оптимален вариант за реконструкция на руднична подемна уредба при удълбаване на вертикална шахта “Капитална”, рудник Чelopeч	17
Вяра Пожидаева Драган Живкович Милорад Ранчич	СММ – система за непрекъснат контрол на състоянието на търкалящи лагери от минната механизация	21
Вяра Пожидаева Драган Живкович Милорад Ранчич	Безразрушителен контрол на основните валове на рудничните подемни машини	25
Емил Цуцков Лъчезар Лазов	Изследване на технологичните параметри на ударно-отражателна трошачка (УОТ)	29
Емил Цуцков Петко Недялков Лъчезар Лазов Драгомир Вражилски	Методика за синтез на двумасови вибрационни машини	33
Адриан Крейтару Александру Пупазеску	Подобряване разделянето на нееднородния товар чрез връзки, използвани при бургия с голям диаметър	37
Хайнек Пречек	Научно-изследователски изследвания в Чешката република относно комбинирани подемни устройства	45
Стефан Чобанов	Чувствителните и селективни защиты от къси съединения – необходимо условие за ефективна работа при група мелнични агрегати	47
Стефан Чобанов	Перспективи на комплектните преносими електрически уредби в мините	51
Милен Дренков Николай Трасиев Николай Миков	Минната електроенергетика и автоматизация – приоритет в дейността на “СМС-С” ЕООД	55
Евтим Кърцелин	Влияние принципа на действие върху бързодействието на апаратите за защита от ток на късо съединение в руднична електроснабдителна мрежа	61
Евтим Кърцелин Румен Исталиянов Петър Петров Илия Йочев Тодор Каврошилов Иван Костадинов	Експериментално изследване на главни водоотливни уредби на подземни рудници	65
Красимир Велинов	Тунелна осветителна уредба в град Пловдив с плавно регулиране на яркостта на входната зона	69
Константин Тричков Константин Костов	Съвременни електроизолационни материали и технологии, използвани при ремонт на високоволтови двигатели	75
Константин Костов Стефан Пулев Константин Тричков	Анализ на движението на ротационен феромагнитен елипсоид във въртящо се магнитно поле	79
Стефан Стефанов Иван Милев Иван Проданов	Индукционен неутрализатор на обемни заряди с повишена ефективност	85
Стефан Стефанов Иван Милев Иван Проданов	Използване теоремата на Шошли-Рамо за определяне заряда на единица дължина на струнен неутрализатор	89
Андрей Козаров Снежана Стоянова	Аналитични зависимости за един вид подемно устройство с постоянен магнит	95
Георги Радулов Георги Трапов	Съпоставяне нелинейността на типични структури на измерителни уреди	99

Георги Радулов	Изследване влиянието на нелинейността на преобразувателите при измерителните уреди със статическо уравновесяване	105
Роланд Морару Габриел Бабут	Измерване на въздушния поток в типични вентилационни мрежи в Румънските каменовъглени мини чрез използване на автоматични скоростни преобразуватели	109
Иван Димов Петко Лалов	Прави и обратни задачи за линейното уравнение на конвективната дифузия, което описва миграцията на замърсителите на подпочвените води	113

C O N T E N T S

Ilia Yochev	Problems connected with the production and processing of marble breccia conglomerate from the "Dalga ushka" deposit	7
Antoaneta Yaneva Ilia lochev	Special features in conditions of testing the brake system of a mining winding machine with many ropes friction pulley	13
Antoaneta Yaneva	Optimal variant for reconstruction of a mining winder in case of digging a vertical shaft 'Kapitalna', Chelopech mine	17
Viara Pozhidaeva Dragan Zhivkovich Milorad Ranchich	CMM – system for continuous control of bearings from the mining mechanization	21
Viara Pozhidaeva Dragan Zhivkovich Milorad Ranchich	Non-destructive control of the basic shafts of mine hoist machines	25
Emil Tzoutzekov Lachezar Lazov	Study of impact crusher technological parameters	29
Emil Tzutzekov Petko Nedyalkov Lachezar Lazov Dragomir Vrazhiski	Methodic for synthesis of two-mass vibrating machines	33
Adrian Creitaru Alexandru Pupazescu	The amelioration of the non-uniform load distribution in shouldered threaded connections used for the large diameter drill stem	37
Hynek Přechek	Hoisting engine compound facilities - science and research application in Czech Republic	45
Stephan Chobanov	Sensitive and selective short-circuit protection – a necessary condition for the efficient operation of mill unit groups	47
Stephan Chobanov	Perspectives of complete portable electric systems in mines	51
Milen Drenkov Nikolay Trasiev Nikolay Mikov	Mining electrical power engineering and automation – priority in the activity of "CMC - C" Ltd	55
Evtim Karcelin	Principle of work over fastwork of the apparatuses for protection of current in mine electrical network effect	61
Evtim Karcelin Rumen Istilianov Petar Petrov Ilia lochev Todor Kavroshilov Ivan Kostadinov	Experimental research of main watertide installation of underground mines	65
Krasimir Velinov	Lighting design of tunnel on the city "Plovdiv" with proportional control	69
Konstantin Trichkov Konstantin Kostov	Contemporary insulating materials and technologies used to repair high-voltage motors	75
Konstantin Kostov Stefan Pulev Konstantin Trichkov	Analysis of movement of rotational ferromagnetic ellipsoid placed in rotating magnetic field	79
Stefan Stefanov Ivan Milev Ivan Prodanov	Inductive neutralizer of bulk charges with increased efficiency	85
Stefan Stefanov Ivan Milev Ivan Prodanov	Use of the Shockly-Ramo theorem for determination of the string neutralizer charge per unit of length	89
Andrei Kozarov Snejana Stoianova	Analytic dependencies for a type of a hoisting device with a constant magnet	95
Georgy Radulov Georgy Trapov	Juxtaposition of non-linearity of typical structures of measurement instruments	99

Georgy Radulov	Investigation of the influence of the non-linearity of transducers in the measurings instruments with the static balance	105
Roland Moraru Gabriel Babut	Air flow assessment in typical ventilation networks in Romanian collieries using automated velocity transducers	109
Ivan Dimov Petko Lalov	Direct and inverse problems for the linear convective diffusion equation governing migration of ground water pollution	113

ПРОБЛЕМИ ПРИ ДОБИВА И ОБРАБОТВАНЕТО НА МРАМОРЕН БРЕКЧОКОНГЛОМЕРАТ ОТ НАХОДИЩЕ „ДЪЛГА УСОЙКА“

Илия Йочев

“Рудметал” АД, 4960 гр. Рудозем

РЕЗЮМЕ. В доклада са изложени основните физико-механични и технологични свойства на мраморната брекча от находище „Дълга усойка“. Изследвани са основни зависимости и параметри необходими за проектирането или подбора на режещи инструменти и машини за добив и обработка. Посочени са технически проблеми възникващи във връзка със специфичните качества на материала. Получените резултати дават възможност за рационален и икономически целесъобразен подбор или проектиране на необходимия машинен парк за находище „Дълга усойка“, но могат да се използват и за други находища на декоративни материали със сходни свойства.

PROBLEMS CONNECTED WITH THE PRODUCTION AND PROCESSING OF MARBLE BRECCIA CONGLOMERATE FROM THE “DALGA USOIKA” DEPOSIT

Ilia Yochev

“Rudmetal” AD, 4960 Rudozem, Bulgaria

ABSTRACT. The basic physical mechanical and technological properties of marble breccia from the “Dalga Usoika” deposit are represented in the report. The main dependence and parameters, necessary for design or selection of cutting tools and machines for production and processing are investigated too. The fundamental technical problems, arisen out of the specific properties of material, are pointed out. The received results provide a possibility for rational and economic expedient selection or design of the necessary machine park for the “Dalga Usoika” deposit but may be used also for other deposits of decorative materials with similar properties.

Въведение

Находището за мраморен брекчоконгломерат “Дълга усойка” се намира в Маданското рудно поле, отстои на 7 km северозападно от град Рудозем и на 23 km югоизточно от град Смолян. То е част от находище „Полковник Серафимово“, което е частично проучено от Геологопроучвателно предприятие – Асеновград през 1983-1985 год.

Находището е детайлно проучено от „Рудметал“ АД гр. Рудозем през 2004г.

Районът попада в югоизточната част на Смолянското понижение и от геоложка гледна точка е относително по-слабо изучен, ако се сравнява със същите райони на юг – Маданското рудно поле, а на север – Смолянския възглицен басейн.

Физико-механични и якостни показатели на материала

В находище “Дълга усойка” са подсечени две разновидности мраморен брекчоконгломерат – мономиктов и полимиктов. Определен интерес представлява първият,

който е обособен в два декоративни типа – PS₁ и PS₂. Основният принцип за разделяне на тези декоративни типове е цвета на спойката им - към типът PS₁ се отнасят мраморните брекчоконгломерати с цвят на спойката от светло до тъмносив, а към типът PS₂ се отнасят мраморните брекчоконгломерати с цвят на спойката от кремав, през розов, до червенокафяв. Както на повърхността, така и в дълбочина се наблюдава постепенен преход на двата декоративни типа. Физико-механичните показатели на брекчоконгломератите са в пряка зависимост от размера на изграждащите ги късове и типа на спойката.

Наблюденията върху единичните пробни тела показват, че колкото те са по-дребно късови и спойката им е преобладаващо карбонатна, толкова те са по-здрави. От значение е и минералният състав на изграждащите ги късове. Преобладаване на късове от доломитни мрамори води до увеличаване на якостите на натиск и опън на брекчоконгломератите.

Физико-механичните показатели на брекчоконгломератите по декоративни типове са обобщени в таблица 1. Сравнявайки физико-механичните показатели на двата декоративни типа се вижда, че големи различия няма.

Цветът на мраморните късове е различен, но общо взето са светли: от сивобели, светлосиви, кремави,

кремаворозови до сиви. В повечето случаи късовете са катализирани и много често процепени с калцитни прожилки.

Брекчоконгломератите са изградени от доломитизирани мраморни късове и карбонатна спойка. Мраморните късове са с различни големина, формати и цвят. Размерите варират от 1 mm до 10 cm. В находището преобладават късове с размери 2–3 до 5 cm.

Химичен състав

За определяне химичния състав на суровината е извършен пълен химичен анализ на 4 бр. проби и са използвани данните от 17 бр. стари проби. Обобщените резултати за определяне химичния състав на суровината в проценти са следните:

- CaO – от 26,1 до 54,6 – средно 44,45;
- MgO – от 0,2 до 17,2 – средно 5,16;

Таблица 1.

Основни физико-механични и якостни показатели

ДЕКОРАТИВНИ ТИПОВЕ		ПОКАЗАТЕЛИ						
		Обемно тегло,gr / cm³	Обам на пори,%	Якост на натиск при лаборат. влажност N / cm³	Якост на натиск при водонепитно състояние N / cm³	Водопопиваемост, %	Коеф. на размекване	Износване по Девал, %
PS1	Мин.	2,61	2,20	419	285	0,10	0,08	3,0
	Макс.	2,67	3,65	930	901	0,46	>1	7,2
	Средно	2,63	2,91	667	560	0,29	0,80	4,9
PS2	Мин.	2,59	2,21	357	277	0,10	0,42	2,6
	Макс.	2,77	7,83	1014	828	1,18	>1	6,8
	Средно	2,65	3,17	686	523	0,44	0,83	5,26

- SiO₂+R₂O₃ – от 2,0 до 19,1 – средно 8,31;
- SiO₂ – от 1,0 до 18,3 – средно 6,73;
- Al₂O₃ – от 0,4 до 5,5 – средно 2,09;
- Fe₂O₃ – от 0,18 до 1,84 – средно 0,66;
- K₂O – от 0,04 до 1,27 – средно 0,39;
- Na₂O – от 0,01 до 0,34 – средно 0,15.

Специфичният и нееднородният състав на мраморния брекчоконгломерат определя особеностите при обработването му и изискванията към проектирането, подбора и експлоатацията на необходимото технологично оборудване.

Рязане с диамантен диск

През последните години се наблюдава поевтиняване на диамантените инструменти, поради което обработването

на скалооблицовъчни материали с тях навлиза широко в практиката.

Начин на рязане

В зависимост от това, дали посоката на въртене на диска съвпада или не с посоката на подаване, са възможни два начина – насрещно и попътно. За находище „Дълга усойка“ се препоръчва насрещно рязане, понеже при него дебелината на срязваната стружка постепенно се увеличава и така нарастват силите, с които се натоварват сегментите на режещия диск. При това е необходимо блокът да се намира под диска с оглед на избягване на повдигането му в резултат на действието на компонентите на силата на рязане. При този начин на рязане резачката работи без динамични натоварвания. Освен това при него практически се изключва заклиняване на диска в мраморния материал. Техническият ресурс на диска в сравнение с попътното рязане е около 10% по – висок. Поради тази причина не се препоръчва рязане на мраморния блок и през обратния ход с цел увеличаване на производителността на процеса.

Кинематични и силови параметри

Скорост на рязане

Скоростта на рязане се определя по формулата:

$$V_p = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60}, \text{ m/s} \quad (1)$$

където D е диаметърът на диска, m;
n – честотата на въртене на диска, min⁻¹.

Оптималната скорост на рязане зависи от физико-механичните свойства на обработвания материал. В Мърхов (2003) за средно твърди материали (мрамори, мраморизирани варовици, доломити и др.) се препоръчват скорости от 25 до 35 m/s. За мраморния брекчоконгломерат от находище „Дълга усойка“ се препоръчва скорост на рязане 30 – 35 m/s.

Максимална дебелина на стружката, срязвана за един оборот на диска

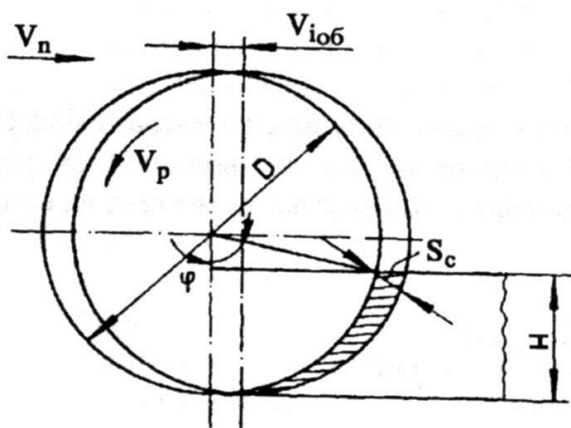
Максимална дебелина на стружката, срязвана за един оборот на диска Sc се определя съгласно фиг. 1:

$$S_c = \frac{\pi \cdot V_n \sqrt{DH - H^2}}{30 \cdot V_p}, \text{ mm} \quad (2)$$

където V_n е скоростта на подаване, mm/min;
D – диаметърът на диска, mm;
H – дълбочина на стружката, mm.

Максимална дебелина на стружката, срязвана от един сегмент за един оборот на диска

Зависимостта, по която се определя дебелината е изведена в Мърхов (2003) и може да се представи в следния вид:



Фиг. 1. Кинематика на дисковото рязане

$$S_c = \frac{V_n \cdot t \sqrt{DH - H^2}}{30 \cdot V_p \cdot D}, \text{ mm} \quad (3)$$

където $t = \frac{\pi \cdot D}{Z}$ е стъпката на сегментите;

Z – броят на сегментите.

Параметърът дебелина на стружката, срязвана от един сегмент за един оборот на диска оказва съществено влияние върху такива важни показатели като скорост на рязане, производителност, износостойчивост на диска, качество на срязваната повърхнина и др. При много ниска стойност на този параметър се увеличава сумарният път триене на сегментите, което води до затпяване на диамантените зърна и намаляване на производителността на диска. Поради това за всеки скален материал е необходимо да се определи рационалната дебелина на стружката, чрез която се постига максимален технически ресурс на диамантения диск.

Мощност при рязане на скалния блок

В практиката за приблизително определяне на мощността на задвижването при рязане с диамантен диск се използва следната формула:

$$N = k \cdot D, \text{ kW} \quad (4)$$

където D е диаметърът на диска, mm;

k – коефициент със стойност 0.02-0.03 kW/mm.

За мраморния брекчоконгломерат от находище „Дълга усойка“ се препоръчва стойност на $k = 0.023-0.025$.

Технологични параметри при рязане с диамантен диск

Технологична производителност

Определя се съгласно израза:

$$P = 10 \cdot V_n \cdot H_p, \text{ cm}^2/\text{min} \quad (5)$$

където V_n е скоростта на подаване, m/min;

H_p – дълбочината на рязане, mm.

Този параметър служи за контрол на правилния подбор на параметрите скорост на подаване и дълбочина на подаване. Рационалната стойност на параметъра технологична производителност за мраморен брекчоконгломерат е 450-600 cm²/min.

Количество на охлаждащата вода

Охлаждащата система е необходимо да осигури достатъчен дебит за охлаждане на диска и отмиване на шлама, който може да се определи посредством следната емпирична формула:

$$Q = k \cdot D, \text{ l/min} \quad (6)$$

където k е коефициент със стойност от 0.025 до 0.03

l/mm.min.

D – диаметърът на диска, mm.

Недостатъчното количество вода води до прегряване на диска и откътрване на диамантените зърна, което силно намалява техническия ресурс на режещия инструмент. Не е рационално подаването на повече от определеното количество вода, понеже в условия на големи скорости се увеличават съпротивленията при движение на диска. Налягането на подаваната вода трябва да бъде 0.5 – 0.6 MPa.

Рязане с въжена резачка

При този начин на рязане – фиг. 2, благодарение на високата скорост при рязане се постига много голяма производителност. Режещият елемент е многоснопъчно стоманено въже, на което са закрепени втулки с диамантен слой с диаметър 10 – 12 mm. Дебелината на диамантеното покритие е от 1 до 1,5 mm. Зърнистостта на диаманта е от 250 до 500 μm, а концентрацията на диамант е около 50 %. За нормалната работа на въжената резачка е необходимо подаване на вода за охлаждане с количество 3,5 – 7.5 m³/h.

С цел постигане на максимален ресурс на въжето е необходимо да се направи оптимален подбор на скоростта на рязане и зърнистостта на диамантения материал.



Фиг. 2. Рязане с въжена резачка

При доставка на въжето, фирмата производител предлага зърнистост съобразно свойствата на скалния материал. В таблица 2 са показани препоръчани от фирмата „Pellegrini“ скорости на рязане за гранит и мрамор.

Таблица 2.

Препоръчителни скорости на рязане за мрамор и гранит

	Твърд гранит	Средно твърд гранит	Мек гранит	Твърд мрамор	Средно твърд мрамор	Мек мрамор
Скорост на рязане, m/s	19-23	23-25	24-28	33-38	35-40	40-45
Брой втурки на 1 m	39-40	37-39	30-35	27-30	27-30	27-30

За находище „Дълга усойка“ се препоръчва скорост на рязане 33 – 35 m/s.

За приблизително определяне на мощността на задвижващия двигател при рязане с въжена резачка може да се използва следната формула:

$$N = k \cdot D, \text{ kW} \quad (7)$$

където D е диаметърът на диска, mm;

k-коэффициент със стойност 0.03-0.06 kW/ mm , като малките стойности се употребяват при малки диаметри / 600mm/, а големите при диаметри на задвижващите шайби 1000 – 1200mm.

Шлифование и полиране

Шлифването е механичен процес от взаимодействието между материала и абразивните зърна, стърчащи над инструмента. Извършва се по три начина - със свободен абразив, периферно и плоско, като основно е плоското шлифование. Основните машини за шлифование на декоративни скални материали са радиално-конзолните и мостови машини.

Полирането е комплекс от механични и физикохимични процеси, като основна роля играят физикохимичните. Извършва се по два начина: с полиращо вещество, което се поставя между материала и диск от кече или друга подобна материя, и чрез абразивен или диамантен инструмент. При полиране с полиращо вещество се образува нов блестящ слой с дебелина 0.1 μm, който представлява сложно органично съединение различаващо се от основния материал.

Инструменти за шлифование и полиране

Декоративните скални материали се шлифват предимно с абразивни инструменти и по-рядко чрез свободен абразив.

Инструментът за шлифование със свободен абразив

Представлява стоманен диск, на който са закрепени стоманени или чугунени брусове, които при въртенето на диска увеличат абразивен шрот, въздействащ на материала.

Абразивни тела (инструменти)

Изработени са от зелен или електрокорунд с магнезиална или бакелитова свързка. За различните шлифовъчни операции се използват инструменти с различна зърнистост – таблица 3.

Таблица 3.

Препоръчителна зърнистост на абразивни тела според вида на обработката

	Вид обработка				
	Калиброване	Грубо шлифование	Средно шлифование	Фино шлифование	Матиране
Зърнистост	125-80	63-32	25-12	10-5	M40-M20
№ на абр. тяло	№0	№1	№2	№3	№4

Диамантени инструменти за шлифование

Представяват диамантени елементи – кръгове, сегменти и др. свързани с корпуса по механичен начин. Зърнистостта на диамантените елементи според операциите е както следва: за грубо шлифование – 315/250 или 250/200; за средно шлифование 100/80; за фино шлифование – 40/28; за матиране – 28/20. Тези инструменти изискват определени условия, които за материала от находище „Дълга усойка“ са следните: периферна скорост 40 m/s, скорост на подаване – 3 m/min и сила на притискане 13kN.

Полиращи вещества и инструменти

Използват се основно следните типове полиращи вещества :

- Цинаж (SnO₂) – бял прах с леко синкав оттенък. Използва се за полиране на светли мрамори;
- Оксалова киселина във вид на дребнокристален прах. Използва се за полиране на светли мрамори, които трудно придобиват гланц. При последващо обработване с цинаж се получава устойчиво и много качествено покритие;
- Червен крокус (Fe₂O₃) – Червен до тъмно кафяв прах с размер на частиците от 0,6 до 1μm. Използва се за полиране предимно на цветни мрамори поради червените оттенъци, които се появяват след обработката.

Инструментите за полиране със свободно полиращи вещества са филцови шайби, оловни шайби, инструмент от полиращи вещества и свързка от синтетична смола и диамантен полиращ инструмент. Основен инструмент при полирането на мрамори у нас е инструментът от полиращи

вещества и свързка. В качеството на полиращи вещества се използват алуминиеви или хромови окиси, както и оксалова киселина.

Технология за шлифование и полиране

За някои находища у нас е възможно да се намалят операциите при шлифование. За материала от находище "Дълга усойка" се препоръчва шлифование с пълен набор абразивни тела от №0 до №5. За калиброване и грубо шлифование е подходящо да се използва диамантен инструмент, а за останалите операции – абразивни инструменти. В този случай се изключват абразивните тела №0 и №1. Честотата на въртене на абразивни тела №0 и №1 е 200 min^{-1} , за тела №2 и №3 – 350 min^{-1} и за тела №4 и №5 – 550 min^{-1} . При автоматично шлифование се препоръчва абразивни тела №2 и №3 да са по два броя.

За полиране се препоръчва напръскване с оксалова киселина и обработване с филцова шайба и последващо обработване с цинаж. Възможно е полирането да стане на един етап с крокус.

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

Заклучение

- Специфичните физико-механични и якостни показатели както и химичният състав на мраморния материал от находище "Дълга усойка" изискват специален подход при подбора и проектирането на необходимите машини за добива и обработката му.
- При проектиране, конструиране или поръчване за изработване на машини за добив или обработване на мраморен брекчоконгломерат от находище "Дълга усойка" е подходящо да се използват изведените зависимости и направените препоръки в настоящия доклад.

Литература

Мърхов Н. Б. 1991. Поддържане и ремонт на минна механизация. С., Техника.
<http://www.pellegrini.ru/telediam.htm>
http://www.pellegrini.ru/diamond_wire.htm
<http://www.pellegrinispa.it>
<http://www.tyrolit.com>

ОСОБЕНОСТИ ПРИ ИЗПИТВАНЕ НА РАБОТОСПОСОБНОСТТА НА СПИРАЧНАТА СИСТЕМА НА РУДНИЧНА ПОДЕМНА УРЕДБА С ТРИЕЩА ШАЙБА

Антоанета Янева¹, Илия Йочев²

¹ Минно-геоложки университет "Св. Ив. Рилски", 1700 София

² "Рудметал" АД, 4960 гр. Рудозем

РЕЗЮМЕ. Спирачната система на рудничната подемна уредба (РПУ) подлежи на изпитване при първоначално пускане в експлоатация, след промяна на крайния окачен товар или височината на подема, както и след провеждане на някои ремонтни дейности. В предложения доклад не се предлага цялостен метод за изпитване на спирачната система, тъй като той е подробно изяснен в предишна публикация на същите автори. Изследвани и систематизирани са най-важните особености при изпитване на руднични подемни машини (ПМ) с многовъжбена триеща задвижваща шайба. Посочени са изискванията за граничните стойности на ускоренията при предпазно спиране, както и за максималната допустима стойност на динамичния коефициент на сигурност срещу приплъзване съгласно нормативните документи. Предложената методика за изпитване на работоспособността и изчисляване на основните параметри на спирачната система обхваща най-често срещаните случаи на монтаж на едно- и многовъжбени ПМ с триеща шайба.

SPECIAL FEATURES IN CONDITIONS OF TESTING THE BRAKE SYSTEM OF A MINING WINDING MACHINE WITH MANY ROPES FRICTION PULLEY

Antoaneta Yaneva¹, Iliya Iochev²

¹University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski, 1700 Sofia, Bulgaria

²"Rudmetal" AD, 4960 Rudozem, Bulgaria

ABSTRACT. The brake system of the mining winder is always tested at the time of the initial putting into exploitation, after changing the end hang load or lift height as well as after some repair works. In the report a complete method for testing the brake system is not represented because the same one is explained in details in a previous publication of the authors. The most important special features for testing the mining winding machines with many ropes friction pulley are investigated and systemized. The requirements for the boundary values of the accelerates at conditions of safety stopping, as well as for the maximum boundary value of the dynamic safety factor against sliding, are pointed out according to the normative documents. The proposed methods for testing the workability and estimating the main parameters of the stopping system contain the most applied cases of winding machines with one- or many ropes friction pulley situating.

Въведение

Спирачната система е един от най-важните елементи на рудничните подемни уредби (РПУ), от които зависи сигурността и безопасността при експлоатация.

Спецификата на предаването на двигателната сила към органа за навиване при подемни уредби с триеща шайба предопределя специалните условия, на които е необходимо да отговаря спирачната система, а именно недопускане на приплъзване на подемните въжета.

Проверката се прави при проектиране на РПУ, а при експлоатацията трябва да се създадат условия за поддържане на параметрите в дадените граници.

Възприето е работоспособността на машината да се определя от това нейно състояние, което в даден момент съответствува на всички изисквания по отношение на основните й параметри, характеризиращи нормалното изпълнение на зададените й функции.

Работоспособността на спирачната система не е свързана само с нейната способност да изпълнява

необходимите функции, но и с това, че основните й параметри трябва да са в известни допустими граници.

Изпитването на работоспособността на спирачната система на рудничните подемни уредби обикновено е завършващ етап от нейната настройката и се налага при следните обстоятелства:

- пускане в работа на нова подемна машина;
- промяна на условията на експлоатация (промяна на окачените товари, височината на подем, типа и конструкцията на подемните въжета и др.);
- извършване на ремонти свързани с елементи от спирачната система;
- неудовлетворителна работа на спирачката и др.

Основни цели и необходими условия на изпитването

Поставени са следните цели:

- определяне на продължителността на празния ход и времето за сработване на спирачката при предпазно спиране и проверка на съответствието

- на тези стойности с изискванията на правилниците по техническа безопасност;
- определяне на закъснението на подемните съдове при предпазно спиране при спускане и подем на изчислителния товар за дадената подемна уредба;
- определяне на стойностите на действителните динамични коефициенти против приплъзване на въжетата.

Времето за празен ход на предпазната спирачка е времето от момента на задействане на спирачката до съприкосновението на накладките със спирачните полета.

Времето за сработване на предпазната спирачка е времето от задействането до момента на създаване на спирачен момент равен на статичния.

Разглеждат се няколко възможни варианта на монтаж на подемната машина (ПМ) с триещя шайба, както и няколко варианта на натоварване на двата клона на въжетата.

Конкретно се извеждат формули за проверка на допустимите ускорения и на динамичния коефициент на сигурност срещу приплъзване при едно- и многовъжени ПМ с наземно монтаж, както и при многовъжени ПМ, разположени в надшахтната кула за случаите с и без отклоняваща шайба.

Друга задача при изпитването на работоспособността на спирачната система е определяне на броя устойчиви степени при работно спиране осигурявани от регулатора на налягане, при които на определен ток в управляващата бобина отговаря съответна стойност на спирачния момент. Изпълнението на тази дейност е разгледано в Йочев, Кърцелин (2003) и не е обект на внимание на настоящия доклад.

Изпитването на предпазното спиране се извършва при спазване на следните условия:

- Хлабините между накладките и спирачните полета трябва да са настроени на максимална величина (сумарна хлабина за двете челюсти и полето $2+2\text{mm}$), при която сработва изключвателът за износени накладки. При машини с пружинно задвижване на работната спирачка изпитването се извършва както при максимални така и при нормални хлабини, понеже от големината на сумарната хлабина зависи стойността на спирачния момент;
- Единият от подемните съдове трябва да е натоварен с максималния изчислен товар. Не се допуска изпитания да се извършват при наличие на хора в подемните съдове. При извоз само на хора, в подемния съд се натоварват тежести с сумарно тегло равно на теглото на максималния разрешен брой хора.;
- За неуравновесен подем изпитванията се извършват при това положение на подемните съдове, при което статичната разлика в клоновете на въжетата е максимална. За уравновесен подем изпитванията се извършват при което и да е положение на подемните съдове;

- Изпитванията се извършват при максимална скорост разрешена за подем и спускане;
- Предпазното спиране трябва да е съпроводено с изключване на главния двигател от мрежата.

Същност на изпитването

Извършва се осцилографиране на процеса на предпазно спиране. Определяне на продължителността на празния ход, на времето за сработване на спирачката и на закъснението на подемните съдове при предпазно спиране е подробно описано в Йочев, Янева (2004) и затова в настоящия доклад тази технология няма да бъде разглеждана.

При подемните уредби с триеща шайба по-малко опасен режим на предпазно спиране е този при подем на товар. Поради тази причина първо се провеждат изпитванията на предпазно спиране при подем на товар. Получената стойност на средното закъснение a_n не трябва да превишава 5m/s^2 , а така също стойността на $a_{\text{пм}}$, изчислени по формули (1) или (2) при разполагане на подемната машина на надшахтова кула, или формула (3) при наземно разполагане на подемната машина или при случай на едно подемно въже.

Максимално допустимата стойност на закъснението, осигуряваща необходимата стойност на динамичния коефициент против приплъзване на въжетата $\mu_d = 1.25$ ще се определи по формулите:

- при случай на подем на по-натоварения клон на въжетата от страна на отклоняващите шайби:

$$a_{\text{ПМ}} = g \frac{F_1(e^{\mu\alpha-1}) + \mu_D(F_1 - F_2)}{\mu_D(F_1 + F_2 + gG_{\text{ш}} \cdot 10^{-3}) + (F_1 + gG_{\text{ш}} \cdot 10^{-3})(e^{\mu\alpha-1})} \quad (1)$$

- при случай на подем на по-натоварения клон на въжетата от страната без отклоняващи шайби:

$$a_{\text{ПМ}} = g \frac{F_1(e^{\mu\alpha-1}) + \mu_D(F_1 - F_2)}{\mu_D(F_1 + F_2 + gG_{\text{ш}} \cdot 10^{-3}) + F_1(e^{\mu\alpha-1})} \quad (2)$$

- при случай с наземно разполагане на подемната машина :

$$a_{\text{ПМ}} = g \frac{F_1(e^{\mu\alpha-1}) + \mu_D(F_1 - F_2)}{\mu_D \left[\frac{F_1 + F_2 + g \cdot 10^{-3} (2G_{\text{ш}} + \Delta M_{\text{ПП}})}{1} \right] + \left[\frac{F_1 + g \cdot 10^{-3} (G_{\text{ш}} + G_{\text{ш}}^1)}{1} \right] (e^{\mu\alpha-1})} \quad (3)$$

където F_1 и F_2 са товарите на клоновете на въжетата, kN като $F_1 > F_2$;

$G_{\text{ш}}$ - приведена маса на отклоняващата шайба или блока от шайби, kg;

μ - коефициент на триене на въжетата и облицовката на органа за навиване;

α - ъгъл на обхват на органа за навиване, rad.

Особеностите на наземното разполагане на много-въжените и едновъжените подемни машини с триещи шайби се състоят наличието на направляващи шайби и на двата клона на въжетата.

При едновъжени подемни уредби с триеща шайба и наличие на парашутно устройство е необходимо да се отчете и масата на въжето, включващо парашута, и масата на шайбата за това въже. Общо приведената маса на парашутното въже и шайбата му ще бъде:

$$\Delta M_{PP} = q(H + 2h) + G_{iш}^1 \quad (4)$$

където q е линейната маса на въжето включващо парашутното устройство kg/m;

h – дължина на това въже от шайбата до най – горното положение на клетката, m;

$G_{iш}^1$ – приведена маса на шайбата поддържаща въжето включващо парашута, kg.

Необходимо е да се изпита предпазното спиране и на по-тежкия клон на въжетата при движение на празни съдове. Получената при това стойност на средното закъснение a_n^1 също не трябва да превишава $5m/s^2$, а така също стойността на $a_{пш}$ изчислени по формули (1) или (2) при разполагане на подемната машина на надшахтова кула, или формула (3) при наземно разполагане на ПМ или при случай на едно подемно въже.

Чрез получените стойности на a_n и a_n^1 се изчисляват очакваните стойности на закъсненията съгласно Бежок и др. (1982):

- при спускане на товар

$$a_{СПО} = a_{П} - \frac{2.10^3 \cdot F_o}{M_{PP}} \quad (5)$$

- при спускане на по тежкия клон на въжетата при движение на празни съдове

$$a_{СПО}^1 = a_{П}^1 - \frac{2.10^3 \cdot F_o^1}{M_{PP}^1} \quad (6)$$

където F_0 и F_0^1 са статичните разлики в клоновете на въжетата съответно при подем на товари и при движение на празни съдове, kN;

M_{PP} и M_{PP}^1 – приведена маса на движещите се части на подемната уредба съответно при подем на товари и при движение на празни съдове, kg.

Получените стойности на закъсненията по формули (5) и (6) не трябва да надвишават определените стойности на $a_{спш}$ по формула (7) или (8) при разполагане на подемната машина на надшахтова кула, или формула (9) при наземно разполагане на подемната машина или при случай на едно подемно въже. Ако това условие е удовлетворено, може да се пристъпи към изпитване на спирачката при спускане на товар или при спускане на по-тежкия клон на въжетата при движение на празни съдове. В противен случай се

извършва настройка на спирачната система с цел намаляване на стойностите на a_n и a_n^1 , отново се изпитва предпазната спирачка при подем на товар и отново се изчисляват очакваните стойности на $a_{СПО}$ и $a_{СПО}^1$.

Максимално допустимата стойност на закъснението осигуряваща необходимата стойност на динамичния коефициент против приплъзване на въжетата $\mu_d = 1.25$ при спускане ще се определи по формулите:

- при случай на спускане на по-натоварения клон на въжетата от страна на отклоняващите шайби:

$$a_{СПш} = g \frac{F_2(e^{\mu_d \alpha - 1}) - \mu_d(F_1 - F_2)}{\mu_d(F_1 + F_2 + gG_{iш} \cdot 10^{-3}) + F_2(e^{\mu_d \alpha - 1})} \quad (7)$$

- при случай на спускане на по-натоварения клон на въжетата от страната без отклоняващи шайби:

$$a_{СПш} = g \frac{F_2(e^{\mu_d \alpha - 1}) - \mu_d(F_1 - F_2)}{\mu_d(F_1 + F_2 + gG_{iш} \cdot 10^{-3}) + (F_2 + gG_{iш} \cdot 10^{-3})(e^{\mu_d \alpha - 1})} \quad (8)$$

- при случай с наземно разполагане на подемната машина :

$$a_{СПш} = g \frac{F_2(e^{\mu_d \alpha - 1}) - \mu_d(F_1 - F_2)}{\mu_d \left[\frac{F_1 + F_2 + g \cdot 10^{-3} \left(2G_{iш} + \Delta M_{PP} \right)}{2} \right] + \left[\frac{F_2 + g \cdot 10^{-3} \left(G_{iш} + G_{iш}^1 \right)}{2} \right] (e^{\mu_d \alpha - 1})} \quad (9)$$

Изпитванията на предпазното спиране както при подем, така и при спускане се извършва 3-4 пъти, повишавайки скоростта при всяко изпитание. При това е необходимо да се установи липсата на приплъзване на въжетата визуално или чрез устройството за защита от това явление. При наличие на приплъзване изпитанията се преустановяват, като следва да се извърши регулиране на спирачната система. За избягване на прегряване на спирачните накладки между изпитанията се правят 10 – 15 минутни паузи.

Получените фактическите стойности на закъсненията при предпазно спиране при спускане на товар и при спускане на по натоварения клон от въжетата при движение на празни съдове съответно $a_{сп}$ и $a_{сп}^1$ трябва да са не по-малки от $1.5m/s^2$ и не по-големи от стойностите на $a_{СПш}$.

Чрез използване на фактическите стойности на закъсненията при подем a_n и $a_{сп}$ се определят фактическите динамични коефициенти на сигурност против приплъзване както следва:

- при подем на товар със съда, разположен към страната на отклоняващите ролки:

$$\mu_{дП} = \frac{[(g - a_{П})(F_1 + gG_{iш} \cdot 10^{-3})](e^{\mu_d \alpha - 1})}{a_{П}(F_1 + F_2 + gG_{iш} \cdot 10^{-3}) - g(F_1 - F_2)} \geq 1.25 \quad (10)$$

- при подем на товар в съда от страната без отклоняващи шайби:

$$\mu_{ДП} = \frac{F_1(g - a_{ПП})(e^{\mu \cdot \alpha} - 1)}{a_{ПП}(F_1 + F_2 + gG_{iш} \cdot 10^{-3}) - g(F_1 - F_2)} \geq 1.25 \quad (11)$$

- при подем на товар с наземно разположена подемна машина:

$$\mu_{ДП} = \frac{\left[F_1(g - a_{ПП}) - a_{ПП} \cdot g \cdot 10^{-3} (G_{iш} + G_{iш}^1) \right] (e^{\mu \cdot \alpha} - 1)}{a_{ПП} \left[F_1 + F_2 + g \cdot 10^{-3} (2G_{iш} + \Delta M_{ПП}) \right] - g(F_1 - F_2)} \geq 1.25 \quad (12)$$

- при спускане на товар със съда, разположен към страната на отклоняващите ролки:

$$\mu_{ДСП} = \frac{F_2(g - a_{СП})(e^{\mu \cdot \alpha} - 1)}{a_{СП}(F_1 + F_2 + gG_{iш} \cdot 10^{-3}) + g(F_1 - F_2)} \geq 1.25 \quad (13)$$

- при спускане на товар в съда от страната без отклоняващи шайби:

$$\mu_{ДСП} = \frac{\left[F_2(g - a_{СП}) - a_{СП} \cdot g \cdot G_{iш} \cdot 10^{-3} \right] (e^{\mu \cdot \alpha} - 1)}{a_{СП}(F_1 + F_2 + gG_{iш} \cdot 10^{-3}) + g(F_1 - F_2)} \geq 1.25 \quad (14)$$

- при спускане на товар с наземно разположена подемна машина:

$$\mu_{ДСП} = \frac{\left[F_2(g - a_{СП}) - a_{СП} \cdot g \cdot 10^{-3} (G_{iш} + G_{iш}^1) \right] (e^{\mu \cdot \alpha} - 1)}{a_{СП} \left[F_1 + F_2 + g \cdot 10^{-3} (2G_{iш} + \Delta M_{ПП}) \right] + g(F_1 - F_2)} \geq 1.25 \quad (15)$$

Изводи

Систематизирана е методика, приложима както при експлоатацията на руднични подемни уредби, така и при тяхното проектиране. Тя дава възможност за решаване на основни задачи при определяне на работоспособността на спирачната система на ПМ с триеща шайба, а именно:

Определяне на времето за празен ход, времето за сработване на спирачката, стойностите на средното закъснение в периода на предпазно спиране и фактическите динамични коефициенти на сигурност при приплъзване.

Получените фактически стойности на средното закъснение при подем на товар не трябва да превишават 5m/s².

Получените фактически стойности на средното закъснение при спускане на товар или спускане на по-натоварения клон на въжетата при движение на празни съдове не трябва да са по-малки от 1.5m/s² и по-големи от стойностите изчислени съгласно (7), (8) и (9).

Получените фактически стойности на динамичния коефициент на сигурност против приплъзване на въжетата за различните случаи при подем и спускане на товар трябва да не са по-малки от 1.25.

Литература

- Бежок, В.Р., Б.Н. Чайка, Н.Ф. Кузьменко. 1982. Руководство по ревизии, наладке и испытанию шахтных подъемных установок. М., Недра.
- Йочев, И.Щ., Янева А.И. 2004. Изпитване на работоспособността на спирачната система на руднична подемна уредба. – Год. МГУ, 47, св. III – Механиз. електр. и автом., 13 – 16.
- Йочев, И.Щ., Кърцелин Е.Р. 2003. Определяне на техническото състояние на някои основни елементи от руднична подемна уредба. – Год. МГУ, 46, св. III – Механиз. електр. и автом., 19 – 22.
- Правилник по безопасност на труда при разработване на рудни и нерудни находища по подземен начин /В-01-02-04/1969. С., Техника.
- Правилник по безопасност на труда в подземните въглищни рудници /В.01.01.01/. 1992. С., ДФ “Полиграфичен комбинат”.

ОПТИМАЛЕН ВАРИАНТ ЗА РЕКОНСТРУКЦИЯ НА РУДНИЧНА ПОДЕМНА УРЕДБА ПРИ УДЪЛБАВАНЕ НА ВЕРТИКАЛНА ШАХТА "КАПИТАЛНА", РУДНИК ЧЕЛОПЕЧ

Антоанета Янева

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

РЕЗЮМЕ. В настоящия работа са разгледани възможностите на съществуващата подемна уредба на шахта "Капитална", рудник Чelopeч, и нейните подежни съоръжения. Целта е доразработване на рудника и удължаване на същата шахта с още един хоризонт - 100 m. Чрез цялостно проектиране на ПУ е проверена нейната работоспособност при новите параметри – височина на подема и годишна производителност. Изследвани са различни варианти за изменение на подежните съоръжения. Търсено е оптимално решение с най-малки допълнителни капитални разходи, с минимални промени по конструктивните елементи и с най-кратък срок на реконструкция и спиране на добива и подема на полезно изкопаемо. Предложени са решения за модернизация на подежната уредба и за по-далечно бъдеще при наличие в дълбочина на запаси с достатъчна икономическа ефективност и в зависимост от дългосрочната програма за развитие на рудника.

OPTIMAL VARIANT FOR RECONSTRUCTION OF A MINING WINDER IN CASE OF DIGGING A VERTICAL SHAFT 'KAPITALNA', CHELOPECH MINE

Antoaneta Yaneva

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

ABSTRACT. The possibilities of the existing winder of vertical shaft "Kapitalna", Chelopech Mine, and its winding equipment are represented in the report. The purpose is further development of the mine and digging one more horizon of the shaft – 100 meters. Through complete design of the winder its workability with the new parameters is checked – lift height and annual output. Various variants for alternation of the winding equipment are investigated. An optimal decision with the least additional capital expense, with minimum alternation of constructive elements and with the shortest time of reconstruction and stopping the production and winding the mineral resource is searched for. Future decisions for the winder modernization are proposed in the presence of reserves in depth with sufficient economic effectiveness and depending on the long-term program for mine development.

Увод

В настоящия работа са разгледани възможностите на съществуващата подемна уредба (ПУ) на шахта "Капитална", рудник Чelopeч, и нейните подежни съоръжения с цел доразработване на рудника и удължаване на същата шахта с още един хоризонт – 100m.

Чрез цялостно проектиране на ПУ е проверена нейната работоспособност при новите параметри – височина на подема и годишна производителност. Търсено е оптимално решение с най-малки допълнителни капитални разходи, с минимални промени по конструктивните елементи и с най-кратък срок на реконструкция и съответно спиране на добива и извоза на полезно изкопаемо.

Предлагат се решения и за по-далечно бъдеще при наличие в дълбочина на запаси с достатъчна икономическа ефективност и в зависимост от дългосрочната програма за развитие на рудника.

Сведения за находището, рудничния комплекс и подежната уредба

Находище "Чelopeч" е едно от най-големите медно-златно-пиритни находища в Европа, разработвано по

подземен начин. Разположено е на 70 км източно от София. В находището се срещат следните типове руди:

- златно-пиритни – само златото е със съдържание над бортовото;
- златно-медно-пиритни – с относително по-високо съдържание на мед;
- медно – златно – пиритни – при тях преобладава златото;
- медно-пиритни – само медта е със съдържание над бортовото;
- полиметални – освен мед и злато има повишено съдържание на олово, цинк и сребро.

Полезните компоненти, определящи промишлената ценност на находището, са медта и златото. Средните съдържания на основните компоненти в рудата са: Cu – 1,51 %; Au – 4,28 g/t; S - 11,34%.

Надземният рудничен комплекс е изграден главно в района на шахта "Капитална" и се състои от:

- Бункерно стопанство – непосредствено до шахта "Капитална" са построени три бункера с обща вместимост 300 t, под които е изградено отделение за едро трошене и четири бункера с вместимост по 58 m³;

- Сграда, в която се намира цех за средно и ситно трошене;
- Обогатителна фабрика – в нея се намира мелнично отделение, флотационно и филтърно отделение;
- Връзката между отделението за едро трошене, цеха за средно трошене и обогатителната фабрика се осъществява чрез гумено лентови транспортьори.

Шахта “Капитална” е с обща височина $H = 345$ m със светло сечение $23,6$ m². Бетонирана е. Армировката за водене на подземните съдове (ПС) е твърда. Шахтата е оборудвана с две отделения за две двуетажни клетки, пешеходно и тръбно-кабелно отделение.

Подземните съдове са двуетажни необръщателни клетки за извоз на вагони ВНР – $2,8$ m³.

Подземни въжета са стоманени с кръгло сечение, отворена конструкция с паралелна плетка - 6×36 6+(1+7+7+7+14). Диаметърът е $d_v = 60,5$ mm, сечение $S_v = 1488$ mm² и дължина $L = 560$ m. Въжето има якост на опън $\sigma_0 = 1770$ N/mm² и сила на скъсване $Q_r = 2634$ kN. Този вид въжета работят добре на огъване, имат по-голяма допирна повърхност и по-малка деформация при навиване около органа и направляващите шайби. Техен недостатък е склонността им към разсукване, особено при големи дълбочини, което затруднява окачването и сменяването им, а също така чрез ПС оказва допълнителен натиск върху шахтната армировка. Предлагайки ново въже, при проектната проверка може да се мисли освен за конструкцията му като якост на опън, също така и за начина му на оплитане.

Подземната машина е еднобарабанна с двусекционен барабан тип ЦР – $6 \times 3,2/0,75$. Този вид подземни машини могат да се използват при работа на два хоризонта. Машината е монтирана в отделна сграда на повърхността върху масивен железобетонен фундамент и е закрепена към него с анкерни болтове.

Електрозадвигването на рудничната подземна уредба е едновидово без редуктор. Задвигването се осъществява с бавноходов постоянен ток двигател с неза-висимо възбуждане по система Г–Д (генератор-двигател). Синхронен двигател тип СДС $n=1000$ r/min; $S=1860$ kVA; $P=1600$ kW; Постояннотоков генератор Тип – МП-172-10 КУ4, $P=1450$ kW; $n=1000$ r/min; постоянен ток двигател тип – П2-26/51-2,5 УХЛ4, $P=2500$ kW.

Спирачната система е с пневмо-тежестно задвигване, двучелюстна с паралелно преместване.

Задачи на оптимизацията и анализ на вариантите

Главната идея на изчислителната проверка и избора на оптимален вариант е да се запазят основните конструктивни елементи на подземната система - подземният съд (ПС), шахтната армировка, надшахтната кула с направ-

ляващите шайби, устройствата за товарене и разтоварване и, много важно, на подземната машина (ПМ) - заради необходимостта от минимални загуби на време, труд и допълнителни инвестиции.

Подземни съдове

Подземният съд от една страна е свързан с вътрешно-рудничния транспорт, който го ограничава с определен вид вагонетки, а от друга – с параметрите на шахтната армировка. Вариантите тук при бъдещи по-кардинални промени са:

- преминаване към друг тип вагонетки с по-голяма вместимост (при запазена плътност на рудата) и проверка на якостта на подемото въже и ПМ с новия полезен товар;
- преминаване към 3-етажна клетка със същия тип вагонетки – променя се само височината на ПС – и отново проверка на въжето и машината;
- преминаване към нов ПС – клетка или скип (изцяло различно виждане – предназначение на РПУ само за товар), което би довело до изменения в армировката, товаро-разтоварните устройства, околошахтния двор на приемните площадки, полезния товар и др. Ще се наложат промени и в надшахтния комплекс, най-вече в приемния бункер и транспортните връзки; може да е необходима и нова надшахтна кула – като височина и конструкция;
- при необходимост от работа на много хоризонти и от големи дълбочини – запазване на досегашния тип клетка, но преминаване към един ПС и противотежест.

Във всички случаи са необходими пресмятания и проверки на работоспособността на ПМ, за да се докаже оставането ѝ в експлоатация.

Една от възможните проверки е якостно изчисляване на цилиндричната част на барабана (при запазени диаметър - D_b и ширина – B_b). При необходимост може да се премине към по-дебела ламарина, което води до по-големи стойности на максималното статично натоварване на ПМ. Подобни пресмятания са правени за различни конструкции ПМ, използвани в българската рудодобивна промишленост 2002, Йочев.

Подземни машини

Необходимостта от смяна на подземната машина би довела до цялостна промяна в надшахтовия комплекс:

- ако сме в границите на еднобарабанните машини или преминем към едновъжена триеща шайба, ще се наложат промени само в сградата – най-вече по фундаментите на ПМ, монтажа на спирачната система и т.н.; надшахтната кула може да се запази при малки изменения в усилията върху нея, направляващите шайби могат да се променят по размери, но не и по място на монтаж;
- ако се наложи преминаване към двубарабанна ПМ, цялостно би се изменила както сградата ѝ, така и надшахтната кула, а също и съоръженията на повърхността – свързани с разтоварването и по-нататъшната обработка на рудата;
- трета възможност е преминаването към многовъжена триеща шайба с аналогични последици, като гореизброените, но би била

оправдана при богати залежи на голяма дълбочина;

Могат да се разглеждат още варианти и комбинации от тях при запазване на един или друг параметър постоянен, но работата е много обемна. Би била оправдана и необходима при цялостна реконструкция на рудника.

Основи на проектирането и предимства на избрания вариант

Конкретната задача в случая има практико-приложен характер, свързана е с частични промени и се предлага във връзка с най-близките планове на минно-добивното предприятие в "Челопеч".

Основните изходни данни за проектиране и проверка са:

- Годишна производителност на рудника – $A_g = 1\,000\,000\text{ t/год.}$
- Височина на подема – $H = 445\text{ m, (335m + 100m)}$;
- Предназначение на подземната уредба – за извоз на руда и хора
- Вид на полезното изкопаемо – руда; обемно тегло на полезното изкопаемо – $\gamma_0 = 3,05\text{ t/m}^3$.

Направени са пресмятания и проверки на подземното въже, подземната машина, спирачната система и електрозадвижването по методиката от Янева, Переновски (2003) за еднорабанна ПМ и необръща-телна клетка. Изчислена е кинематиката и динамиката на подема и е доказана работоспособността на съществува-щия орган за навиване на въжето като якост и конструк-тивни размери (достатъчна широчина B_6 да събере допълнителната дължина въже при удълбаване на шахтата).

Разработената тема с направените изчисления и взетите проектантски решения позволява удълбаване на ВШ "Капитална" - рудник Челопеч с още един хоризонт – 100m. Въпреки че липсват икономически пресмятания, приетият вариант за промяна в състоянието на РПУ е най-изгоден, защото:

- запазва органа за навиване на въжето на ПМ в същия вид – като геометрични размери и като конструкция;
- запазва подземния съд – съответно типа вагонетка, конструкцията на шахтната армировка и производителността – за повишаване на последната се влияе върху скоростта на подема;
- кинематиката на подема се запазва като изходни данни за закон на движението; увеличавайки пътя (H) и запазвайки часовата производителност, се налага увеличаване на скоростта;
- променя електрозадвижването – което позволява по-висока скорост; от използваната Г-Д група се запазва постоянно-токовият двигател, а се сменят постоянно-токовият генератор (от 1450 на 2900kW) и синхронният двигател (от 1600 на 3150kW); освен за по-голямата скорост новото задвижване е достатъчно и за по-големите тегла от допълнителната дължина въже и за допълни-телен резерв без опасност от претоварване;

- променя конструкцията на подземното въже като осигурява по-голяма якост в рамките на допустимия за ПМ работен диаметър; $d_b = 60\text{ mm, } 6 \times 36\text{ (1+7+7+14)}$ паралелна/кръстосана плетка с изкуствена сърцевина (ISO 2001, Bridon);
- запазва технологичния комплекс на повърхността – бункери, връзка с трошачно отделение и т.н.;
- запазва надшахтната кула по размери и конструкция, също и направляващите шайби.

Бъдещи насоки за развитие на РПУ

При необходимост от по-нататъшно удълбаване на ВШ могат да се разгледат следните технически решения.

А) Запазване на еднорабанната машина с:

- минимални промени по ПМ – смяна на облицовката на барабана за по-голям диаметър въже в рамките на допустимото;
- смяна на цилиндричната част – с ламарина с по-голяма дебелина – с проверка на лагерувания, махови моменти и други силови изчисления;
- изчисляване на остатъчния ресурс на отделните елементи на РПУ за определяне на допълнителния й срок на експлоатация – може да се използва методика, предложена в дисертационна работа -2002, Йочев;
- преработване на барабана в такъв с бягащи навивки – вж. Б.1;

Б) Преминаване към двурабанна ПМ със следните варианти:

- еднослойно навиване на въжето;
- двуслойно навиване на въжето;
- преработване на барабана в такъв с бягащи навивки на триене.

Според правилника за безопасност на труда /2/ двуслойно навиване на подземното въже е допустимо при използване на РПУ във вертикални шахти само за товар. Това променя предназначението на разглежданата ПУ – може да се мисли и за смяна на ПС с всичките допълнителни последици. За момента се спираме само на влиянието на 2-барабанната машина при двуслойно навиване на подземното въже.

При режим на ПУ с двуслойно навиване има опасност от неопределено навиване на въжето и свързаните с това отрицателни последици:

- намаляване на възможната дължина въже за навиване върху барабана;
- увеличаване на радиуса на навивките от външния слой и опасност от прескачане на въжето извън реборда, водеща до сериозна аварийна ситуация

Трябва да се предвидят съответните механични и електрически защиты.

На всяка конкретна ПУ действа специфичен комплекс от фактори, влияещи върху процеса на навиване на въжето:

- състояние на облицовката – дълбочина на каналите под въжето, височина на гребените, наличие на локално износване;

- колебателни процеси и скорост на навиване на подемното въже;
- наличие и вид на направляващо устройство при влизане на въжето върху барабана;
- краен окачен товар;
- конструкция на въжето – линейна маса, съпротивление на усукване, коравина и др.
- усилие на триещите намотки върху барабана;
- хоризонталност на главния вал на ПМ, перпендикулярност спрямо посоката на движение на ПС и др.

Б.1. При ПМ с бягащи навивки на триене липсва обикновеното закрепване на въжето към реборда на барабана. Усилието от задвижващия барабан се предава чрез триене. Краищата на въжето се свързват към подемните съдове. Осигурява се еднослойно навиване, икономия на една пълна дължина въже, увеличаване на товароподемността и производителността на ПУ. За първи път такава конструкция се използва 1990г. в Украйна. При преместване на ПС от долна до горна приемна площадка триещите навивки се преместват от единия реборд към другия. При преработване на еднобарабанна ПМ дълбочината на обслужваната част от ВШ се увеличава с:

$$\Delta H = \pi(D + d_b)(n_i - n), m \quad (1)$$

където: D – диаметър на барабана; d_b – диаметър на въжето; n_i – брой на стационарните навивки за триене – (5+5 – за метална облицовка); n – брой бягащи навивки на модернизираната машина.

При преработване на двубарабанна ПМ, при което двата барабана ще се използват като един триещ орган за навиване допълнителната височина ще бъде:

$$\Delta H = 2\pi(D + d_b)(n_i - n), m \quad (2)$$

Модернизацията на барабан на ПМ по система с бягащи навивки е рационална по следните причини:

- увеличава се височината на подема;
- увеличава се товароподемността;
- намалява се напрегнатото състояние на барабана;
- повишава се надеждността и безопасността на работа.

Заклучение

При необходимост от модернизация трябва да се определи възможният допълнителен срок на експлоатация на

РПУ. При оценка на отделните елементи на подемната уредба трябва да се съобразят следните критерии:

- теоретична обосновка за запазване или смяна;
- спазване на изискванията на ПБТ;
- морално остаряване на съответната конструкция и др.

Прави се проверка за възможностите на новата ПУ на база – годишна производителност, височина на подема, коефициент на сигурност на подемното въже и др.

Извършва се обосновка и анализ на всички възможни за конкретната ПУ варианти, зависещи от условията на бъдещата експлоатация, и избор на икономически най-изгодния.

При планиране и създаване на необходимата организация на работа по реконструкцията се взимат предвид възможностите на наличната помощна механизация за ефективно извършване на монтажно-демонтажните операции. Съвместяват се максимално групи дейности за осигуряване на кратки срокове при спазване на изискванията на правилниците по безопасност на труда и отрасловите нормативи. Преценява се възможността за успоредно нормално извършване на добивните и транспортни работи в рудника. Използва се нашият и чуждестранният опит при избора и осъществяването на оптимален вариант.

Като научно-приложни приноси на предложената разработка могат да се подчертаят направените анализи, изследвания и прогнози за развитие на рудника, свързани с технологични и конструктивни промени по РПУ на шахта "Капитална".

Литература

- Йочев Илия, 2002г, Дисертационен труд за получаване на образователна и научна степен "Доктор", София, МГУ "Св. Ив. Рилски".
- Правилник по безопасност на труда при разработване на рудни и нерудни находища по подземен начин /В-01-02-04/ 1969. С., Техника.
- Янева А., Переновски Н., 2003 г. "Ръководство за упражнения по РПУ", Издателска къща МГУ, София, Bridon – Mining Catalogue, 2004.

CMM – SYSTEM FOR CONTINUOUS CONTROL OF BEARINGS FROM THE MINING MECHANIZATION

V. Pozhidaeva¹, Dr. Zhivkovich², M. Ranchich²

¹ Mining-and-geological University "St.Ivan Rilski", 1700 Sofia, Republic of Bulgaria

² Higher Technical School, 23000 Zrenjanin, Serbia and Montenegro

ABSTRACT. The article considers a system for continuous control, based on one of the methods of shock pulses, and namely dBm/dBc method. Described are the possibilities provided by the method, as well as the required equipment for the diagnostic needs of open-pit mining mechanization. Comments are made on the diagnostic parameters and their criterion sufficiency for the various types of mechanic damages subject to non-destructive control.

CMM - СИСТЕМА ЗА НЕПРЕКЪСНАТ КОНТРОЛ НА СЪСТОЯНИЕТО НА ТЪРКАЛЯЩИ ЛАГЕРИ ОТ МИННАТА МЕХАНИЗАЦИЯ

В. Пожидаева¹, Др.Живкович², М. Ранчич²

¹Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София

²Висше техническо училище, 23000 Зренянин, Сърбия и Черна гора

РЕЗЮМЕ. В статията се разглежда система за непрекъснат контрол, базираща се на метода на ударните импулси, а именно метод dBm / dBc. Описани са възможностите които предоставят метода, както и необходимото апаратно осигуряване за нуждите на диагностиката на минната механизация от открития въгледобив. Направен е коментар на диагностичните параметри и тяхната информативност за различните видове механични повреди, подлежащи на безразрушителен контрол.

Introduction

The continuous technological process in the mining industry sets high security and reliability requirements to the mining mechanization. Past experience shows that the main reasons for emergencies are linked in the first place to damages in the roll bearings. The statistical analysis of damages in roll bearings reveals the main reasons leading to emergencies.

- 45% - deteriorated lubrication;
- 25% - incorrect mounting, most often overtightening;
- 20% - misalignment;
- 10% reach their limit life, i.e. they damage because of material fatigue.

This statistics predetermines also the main directions for improvement of the technical servicing of roll bearings – and namely, to create prerequisites for the larger part of bearings to damage because of material fatigue, i.e. to reach their limit exploitation life, through effective control of the lubrication condition and the quality of mounting. Past practice in the use of portable instruments and on-line systems proves that the specifics of the mining mechanization is best suited by the methods and apparatuses of SPM Instrument.

Theoretical argumentation

The instruments and systems of SPM Instrument use the **Shock Pulse Method (SPM)**, which was established more

than 30 years ago and is the most specialized and informative method for analysis of the condition of roll bearings, presently used in the industry. The main fundamental difference, distinguishing it from the methods of other firms that are based on vibration measurements, is that in measuring and analyzing the vibrations there can only be registered damages that have already appeared in the roll bearing, while with the SPM method - by controlling the lubrication – dry friction and thereby mechanical damage of the bearing can be repeatedly prevented.

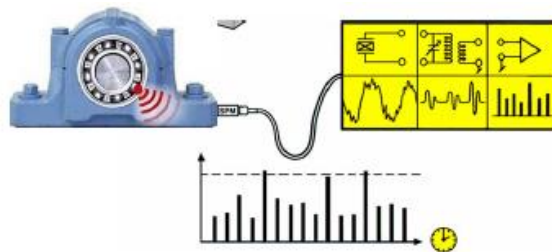


Fig.1

The "secret" of the SPM method is hidden in the specialized piezoelectric SPM transducer, which is mechanically and electrically adjusted to register the shock pulses in a very narrow range. The frequency range (32 kHz) is not accidentally selected, considering that the upper limit of attenuation of the mechanical vibrations is around 27 kHz. In this way the SPM

transducer registers low-energetic shock pulses, intensifying them 5-7 times stronger compared to the standard vibration transducer. The signal thus obtained passes through electric filters, after which a series of analogue pulses (Fig.1) enter the analyzing part of the measuring module. In this sense, the SPM method does not use “filtering method” for measuring of the bearings, unlike the “Envelope” equipment, and it is wrong to identify it with the vibration control methods. There exist 2 variants of the SPM method, which use the same SPM transducers, but differ in the evaluation and analysis of the shock pulses. As of present, “Maritza-Iztok” Mines has been using only one of them for diagnostic purposes, and namely the dBm/dBc method. Control there is realized on the basis of information about two limit parameters dBm and dBc, which illustrate the momentary condition of the bearing. dBm is a maximal level for a small number of shock pulses which are with high amplitude. It is an indicator for a damage in the bearing. dBc is a bottom level for many in number, but weaker shock pulses (around 200 pulses/second). It is an indicator for the lubrication condition. The two values are measured by a normalized decibel scale, which means that the scale is adjusted individually for every bearing after having entered the data thereof.

The bearing's details required for calculation of the initial level dB_i, in relation to which reading of the two limit levels is done, are: diameter of the shaft (d) and frequency of rotation (rpm). In this way, after measurement, the dBm and dBc values are already evaluated and show the actual condition of the bearing by means of an arrow orientated opposite the respective zone of the condition scale (Fig.2):

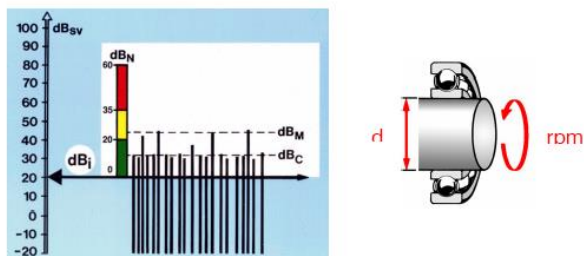


Fig.2

For a bearing in good condition the graph of the shock pulses corresponds to Fig.3, and for a bearing subject to replacement – Fig.4.

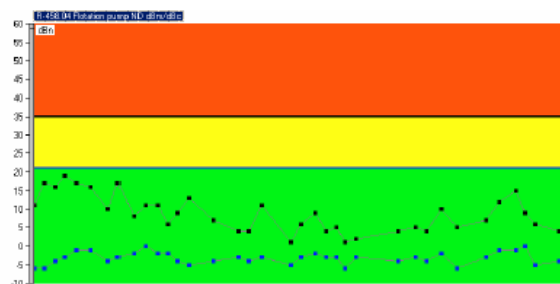


Fig.3

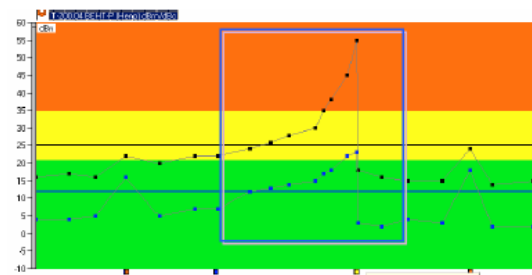


Fig.4

The method dBm/dBc is used for evaluation of the condition of roll bearings with Tester T30 and Module system SMM. System SMM (Fig.5) consists of single-channel and double-channel modules, which convert the signals from the transducers of shock pulses (SPM) and the vibration transducers in a universal current signal 4-20 mA. It is designed for:

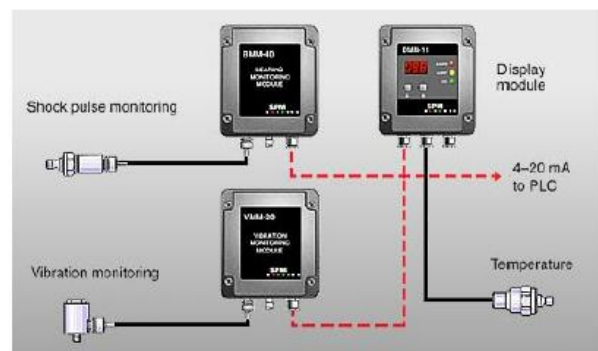


Fig.5

- Continuous monitoring of the condition of roll bearings by the SPM method dBm/dBc;
 - Measuring the level of vibrations according to ISO 10816;
 - Measuring the temperature and analogue signals.
- The measured signals can be analyzed in 2 ways:
- By the display modules DMM10, disposing with a color diode indication. They can be mounted in the operator's cabin of the drive station or in the excavator's cabin;
 - By sending the outgoing analogue signals 4-20 mA from the converting modules to the PLC system.

Experimental investigations

A monitoring system of the SMM type for monitoring of the heavily loaded bearings has been installed on a drive station of a belt conveyor in Troyanovo-3 mine of “Mines Maritza-Iztok” EAD. The system has been built up to the level of display modules DMM10, with alarm signalization upon damage and possibility for connection to a PLC system. Thus structured, the system SMM operates together with the existing programs Condmaster®Pro 46, Version 1.11, Tester T30 and Analyzer A2011 in the mine. By way of information on the condition of each bearing, the screen of the display modules shows in digital form the controlled levels dBm/dBc, and upon eventual subsequent inclusion of the modules to the PLC system on a computer screen in the diagnostic laboratory of the mine there would be obtained solely the graph of the level dBm (Fig.6). By the trend of the maximal level of the shock pulses we judge of

a developing damage in the bearing. A shortcoming of this variant is the lack of information on the bearing's lubrication. This information can be obtained by periodical manual measurement of the levels dBm/dBc by means of Tester T 30 or analyzer A2010, after which the results from the periodical control are entered into a computer and processed with the program for diagnostics and evaluation of the bearings Condmaster PRO. The presence of a big number of measuring points does not permit conductance of effective diagnostic control. Therefore, at the present moment, the diagnostic control of the bearings is reduced to evaluation of their condition only in the periods preceding capital repair of the machine. On the other hand, it is not possible with the available equipment to do forestalling diagnostics and respectively – timely repair intervention to prolong the life of the bearing.

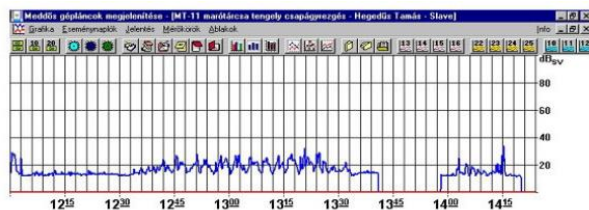


Fig.6

These negative circumstances can be overcome by implementing a system for continuous monitoring of the technical condition with automatic evaluation of the measuring results of the CMS type. Up to 250 measuring modules with total points number up to 4000 can be connected in a CMS system. In this way the system is extremely flexible and permits, after initial installation of a certain number of measuring points, a stage-by-stage expansion by adding new measuring channels. CMS ensures on-line connection between the analysing software and the measuring points from each machine. Through this connection measurement data are obtained and instructions are sent to the measuring modules. For this purpose, two programs are used by the CMS System:

Communication program CMS and analysing program Condmaster®Pro.

Conclusions

1. The many years of experience with the control of bearings from open-pit coal-mining mechanization has unmistakably confirmed the shock-pulse method as the most effective method for diagnostics and control of their condition.
2. Based on the specifics of the equipment in open pits, to ensure reliable protection of heavily loaded rotor mechanisms on excavators, spreaders, drive stations, etc., the most expedient would be to build up a System for continuous monitoring of the technical condition with automatic evaluation of measurement results of the CMS type.

Literature

- "SPM" - Instrument", Working with Condmaster \pro and \data Loggers A30/T30, Version 1.11, 71545 B, 1999-02.
- "SPM" - Instrument", The SPM Method, A complete set of tools for evaluating the running condition of operating rolling element bearings, 71482 B, August 1994.
- "SPM" - Instrument", CMM System, 71550 S, 1997.
- Rancic M., Zivkovic D., Mr. Jovanic D., Modeliranje logickih struktura primenom petrijevih mreza, 31st Jupiter Konferencija, Masinski fakultet univerziteta u Beogradu, Zlatibor, april, 2005.
- Veljic M., Zivkovic D., Prilog odredivanju ekonomichnosti tresaca voca, 31st Jupiter Konferencija, Masinski fakultet univerziteta u Beogradu, Zlatibor, april, 2005.
- Zivkovic D., Rancic M., Salemovic D., Information Systems for Supporting Preventative Maintenance of Machinery and Equipment Used in Open-Pit Coal Mining, VIII-th Open Pit and Underwater Mining Conference, 31st May – 4th Juny, 2005, Sunny beach resort, pp.216-222.

NON-DESTRUCTIVE CONTROL OF THE BASIC SHAFTS OF MINE HOIST MACHINES

V.Pozhidaeva¹, Dr. Zhivkovich², M.Ranchich²

¹ Mining-and-Geological University "St.Ivan Rilski", 1700 Sofia, Republic of Bulgaria

² Higher Technical School, 23000 Zrenjanin, Serbia and Montenegro

ABSTRACT. The technology for non-destructive control of the basic shafts of mine hoist machines is based on ultrasounds and magnetic-dust defectoscopy. The article considers the application of the two methods for control in the various critical cross-sections of the shafts. Determined is the position of the controllable sectors and ADD are applied – diagrams for adjustment of the control sensitivity and evaluation of the defect dimensions.

БЕЗРАЗРУШИТЕЛЕН КОНТРОЛ НА ОСНОВНИТЕ ВАЛОВЕ НА РУДНИЧНИТЕ ПОДЕМНИ МАШИНИ

В. Пожидаева¹, Др. Живкович², М. Ранчи²

¹ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София

² Висше техническо училище, 23000 Зренянин, Сърбия и Черна гора

РЕЗЮМЕ. Технологиата за безразрушителен контрол на основните валове на рудничните подемни машини, се базира на ултразвукова и магнитно-прахова дефектоскопия. В статията се разглежда приложението на двата метода за контрол в различните критични сечения на валове. Определено е разположението на контролируемите участъци и са приложени АД – диаграми за настройка на чувствителността на контрола и оценка на размерите на дефекта.

Introduction

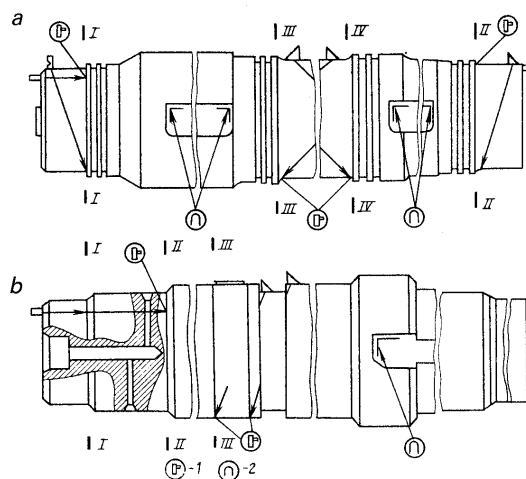
Hoist machines are the main element of mine hoist systems. Complete with the other elements of the mine hoist system – hoist vessels, hoist and balance cables, guide pulleys, shaft frames, etc., they have a primary function and are subject to periodic control for the purpose of guaranteeing operation safety.

The basic shaft of the mine hoist machine (MHM) receives the entire external load and transmits it through the bearings of the foundation. In the process of exploitation of the basic shafts sudden loads emerge upon bedding of the emergency brake, overloading of the hoist vessels or their abrupt lowering, etc. Particularly dangerous are emergency loads due to overhoist and bumps of vessels deviating from the reinforcement and buntons of the shaft.

Defectoscopy methods

The technology for control envisages ultrasound and magnetic-dust methods for defectoscopy. The ultrasound method is used for control of the roundings of the shaft shoulders and the places of press fits (mainly for pipe shafts). The magnetic-dust method is used for control of the exits of the key channels of stressed connections, around the lubricant-feed openings, and when necessary – for specification of the parameters of defects found by ultra-sound methods, with ensured access to the controllable surface.

Defectoscopy is recommended to be conducted during capital repair of the hoist machine and upon expiry of the service life indicated by the manufacturer, and also upon violation of the exploitation rules when the shaft has been damaged because of incongruous load. Defectoscopy is applied to the main shafts of the MHM with drum diameter from 1.2 to 9 m.



a – shaft on three supports with sliding bearings

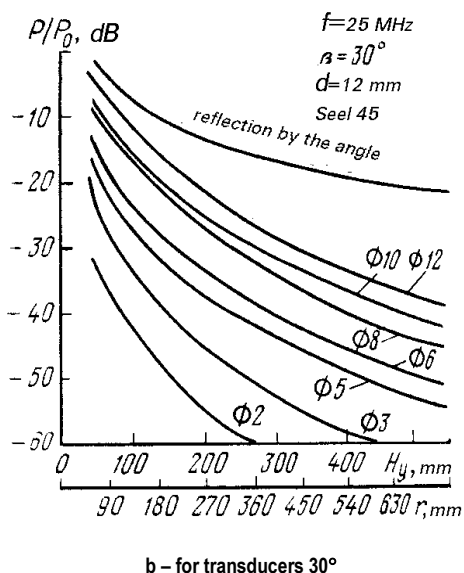
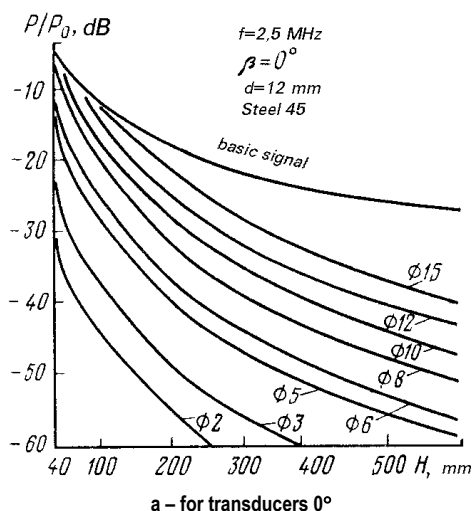
b – shaft on two supports with roll bearings

Fig.1 – Disposition of the controllable sectors of the basic shafts of the MHM

Fissures from material fatigue usually appear in the roundings, the places with press fits, key connections and

lubrication openings. Fig.1 shows the position of these sectors on the basic shafts of the MHM. To discover the fissures, preventive defectoscopy of the shafts is carried out.

Ultra-sound control (1-fig.1) uses type transducers at the frequency of 2.5 MHz with entry angles of 0° , 41° , 50° , as well as separately-combined used depending on the possibilities for access to the various control zones, the type and dimensions of the shaft. Control sensitivity depends on the remoteness of the controllable zone from the point of entry of the ultra-sound oscillations and has to provide for discovery of artificial defects with surface area: up to 100 mm – 7 mm² (3 mm), from 100 up to 400 mm – 50 mm² (8 mm), from 400 up to 700 mm – 80 mm² (10 mm), above 700 – 700 mm² (30 mm).



The sensitivity of the magnetic-dust control method (2-Fig.1) must correspond to the conditional level of sensitivity B. Sensitivity is adjusted by a reference-free method, by reading ADD (amplitude, distance, diameter) diagrams. The use of ADD – diagrams for control sensitivity adjustment and evaluation of defect dimensions – excludes errors from possible differences in the acoustic characteristics of the material of the sample and the article. Normally, in order to obtain the support curve of the main signal, a support echo-signal from the cylindric surface of the shaft itself is used,

obtained in several points situated along the various shaft diameters. Such solution is possible for distances from the point of signal entry to the reflecting surface longer than 80 mm and therefore it is acceptable for control of the basic shafts (the minimal distance from the point of entry of the ultra-sound oscillation to the controllable zone is equal to 90 mm). Fig.2 shows ADD – diagrams used for the adjustment of control sensitivity with different transducers.

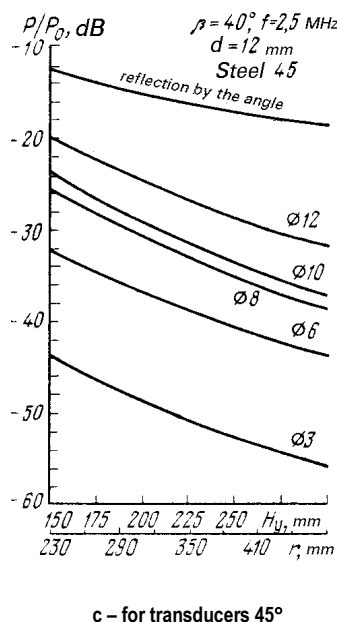


Fig.2 – ADD – diagrams for adjustment of the sensitivity and evaluation of the equivalent dimensions of the defects

In the ultra-sound control of the roundings of shafts with roll bearings the transducers are mounted perpendicularly to the front surfaces of the separate shoulders, and for shafts with sliding bearings (except for the middle necks of the shafts of three supports), mounting can also be done obliquely to the front surface with directionality along the generatrix of the shaft neck. Control of the step-like parts of the shaft and the places of press fits (for pipe shafts) is carried out with transducers inclined to the shaft surface and directed along the generatrix. Upon discovering a defect, we have to determine its coordinates, equivalent surface and conditional remoteness. The magnetic-dust control is carried out as per the scheme shown (Fig.1) with a SON, as the shafts as a rule are made of steel 45. For magnetization, there are used electric contacts and flexible cable from the apparatus set. For determination of the direction of the magnetic force-lines of the magnetic field and evaluation of the control sensitivity, special accessories are used (Fig.3), the main element whereof – control sample 2, is a steel disk consisting of seven segments, tightly fitted one to another and soldered. From the reverse side of one of the segments a 3mm groove is made by means of a chisel, for evaluation of the control sensitivity, so that on the uppermost surface of the disk a clear groove is formed. After that, the upper surface of the disk is ground until a smooth surface with a visible trace is formed in the cutting spot and is covered with several layers of light nitro-enamel. The sample is placed in frame 1 of non-magnetic material, which has openings to pour suspension. Frame 1 is fixed in a wire frame 3, which can rotate by use of tubular handle 4. The controlled sectors of the bearing necks of the shaft are de-magnetized.

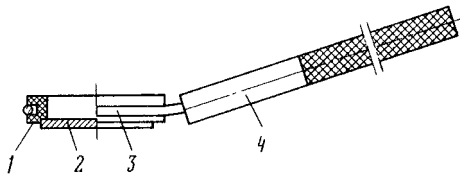


Fig. 3. Accessory for determination of the direction of the magnetizing field and the control sensitivity

Conclusions

The application of preventive defectoscopy of the basic shafts of the mine hoist machines helps to prolong the service life of the whole hoist system, and also increases the reliability of its exploitation. In the cases of emergency load or low quality of repair or mounting, a defectoscopy of the shaft will enable us to predict the safety in the exploitation of the hoist system.

Recommended for publication by Department of
Machine Science, Faculty of Mining Electromechanics

Literature

- Goncharov I.B., Matangin K.M., Defectoscopy of the coal-mining equipment, Moscow, Nedra, 1990.
- Anguelov A., Popov S., Chobanov K., Reference catalogue of machines and facilities in the coal-mining industry, Sofia, Tehnika, 1979.
- Rancic M., Zivkovic D., Mr. Jovanic D., Modeliranje logickih struktura primenom petrijevih mreza, 31st Jupiter Konferencija, Masinski fakultet univerziteta u Beogradu, Zlatibor, april, 2005.
- Veljic M., Zivkovic D., Prilog odredivanju ekonomichnosti tresaca voca, 31st Jupiter Konferencija, Masinski fakultet univerziteta u Beogradu, Zlatibor, april, 2005.
- Zivkovic D., Rancic M., Salemovic D., Information Systems for Supporting Preventative Maintenance of Machinery and Equipment Used in Open-Pit Coal Mining, VIII-th Open Pit and Underwater Mining Conference, 31st May – 4th Juny, 2005, Sunny beach resort, pp.216-222

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНИТЕ ПАРАМЕТРИ НА УДАРНО-ОТРАЖАТЕЛНА ТРОШАЧКА /УОТ/

Емил Цуцекков¹, Лъчезар Лазов²

^{1,2}Технически университет – София, emil_assenov@yahoo.com; lcho@mail.bg

РЕЗЮМЕ. В работата се дават резултатите от проведените изследвания върху технологични параметри (производителност, мощност и степен на трошене) на УОТ за три вида материал (сиенит, речен чакъл /кварцит/ и варовик). Изследванията са извършени на лабораторна УОТ в кат. „ИЛПТСТ“ на ТУ-СОФИЯ. Получени са зависимости в графичен вид за технологичните параметри в зависимост от периферната скорост на ротора и броя на чуковете. Тези резултати служат за основа на изследвания на геометрични, кинематични и силови параметри на УОТ.

STUDY OF IMPACT CRUSHER TECHNOLOGICAL PARAMETERS

Emil Tzoutzekov¹, Lachezar Lazov²

Technical University – Sofia, emil_assenov@yahoo.com; lcho@mail.bg

ABSTRACT. This work represents results from study of technological parameters of impact crusher (productivity, power and size reduction range). Study is provided on three kinds of materials. The studies have been made on laboratory impact crusher in "Material Handling" department at TU-Sofia. Graphical relations about technological parameters as function of rotor peripheral velocity and number of hammers have been obtained. These results could be used for subsequent studies of geometric, kinematical and dynamical parameters of impact crusher.

Въведение

За постигане на набелязаната цел в конструкцията на физическия модел на ударно-отражателна трошачка бяха заложили възможности за вариране на геометричните и механичните параметри, каквито са: брой на чуковете върху ротора, брой и различно разположение на ударно-отражателните плочи, различен ъгъл на наклона на захранващия улей и различни периферни скорости на ротора. Моделът бе снабден с необходимата апаратура и измервателни средства за провеждане на изпитанията. Изпитания се извършиха върху три вида материали: варовик /мергелен тип/, речен чакъл /кварцит/ и сиенит.

Описание на експерименталната уредба

В експерименталните изследвания на ударно-отражателните трошачки измерването на механични величини като ударни натоварвания, напрежения и други са затруднени от условията на работа на трошачката. Цялото вътрешно пространство се прострелва от късове натрошен материал, които могат да повредят измервателните елементи. При изследването на ударните процеси е необходимо да се подберат такива методи, които да могат да измерват и регистрират силови и кинематични величини променящи се по време на работния процес и в широк диапазон. Според приетата методика на изследване необходимите механични величини се регистрират с помощта на тензометрична апаратура.

Силите на удара в плочите се измерват с обикновени жични тензопреобразуватели с база 12 mm.

Чрез комбиниране на различни обороти на ротора, чрез четирите ремъчни шайби, различен брой чукове на ротора и различните проби материал за трошене се създадоха различни режими на работа на трошачката.

Провеждане на експеримента

Задачата на провежданите моделни експериментални изследвания на ударно-отражателна трошачка се състои в следното:

- Установяване на силите на удар върху ротора и отражателните плочи и еквивалентността на тези сили;
- Установяване на производителността на модела при различни режими на работа;
- Установяване на зърнометричната характеристика на материалите преди и след трошенето и от там степента на трошене на модела;
- Установяване големината на въртящия момент на вала на ротора и изразходваната мощност от двигателя;

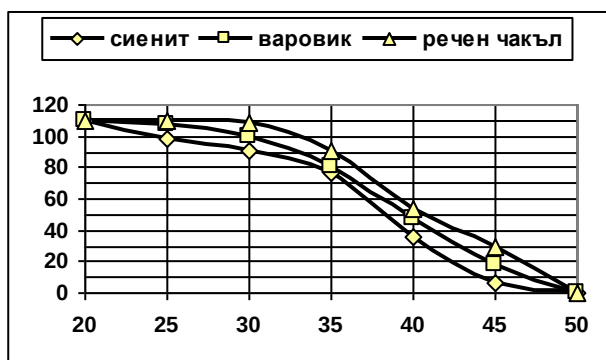
Според поставената задача на експерименталните изследвания се измерваха и установиха следните величини:

1. Силите получавани от ударите при трошенето в опорите на ударно отражателните плочи във вертикално и хоризонтално направление.
2. Въртящият момент на вала на ротора.
3. Оборотите на вала на ротора.
4. Зърнометричния състав на материала преди и след трошенето.
5. Якост на натрошения материал.
6. Количество натрошен материал за единица време.

Средната производителност на модела за различните режими на работа се установяваше чрез предварително измерен материал и измерване на времето на трошене.

Периферните скорости, при които се проведоха експериментите бяха: $V_1=10.5$ [m/s]; $V_2=24.2$ [m/s]; $V_3=31$ [m/s]; $V_4=36$ [m/s].

Материалите, които се натрошаваха бяха с максимален размер до 55 мм. Зърнометричната характеристика на изходния материал е показана на графиката на фиг. 1.



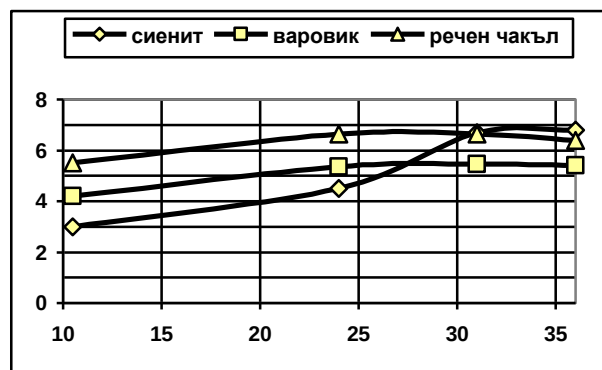
Фиг. 1. Зърнометрична характеристика на изходните материали.

Положението на плочите бе така регулирано през време на работата, че да може да се получи удар близък до централния. Наклонът на работните плочи се движеше в границите на препоръчителните оптимални граници.

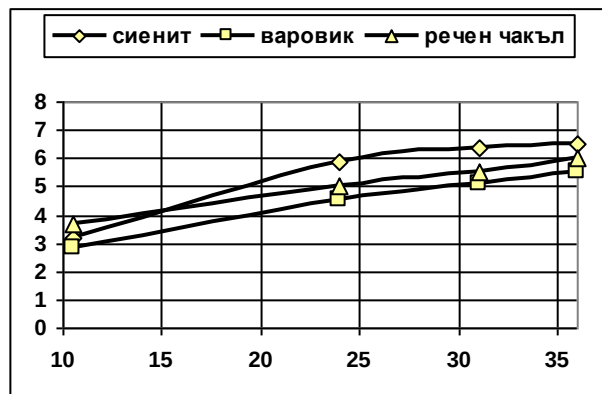
Захранващия улей и неговия наклон се променяше през време на експеримента с цел да се промени скоростта на захранване и оттам благоприятно проникване на материала в работното пространство.

Получени резултати

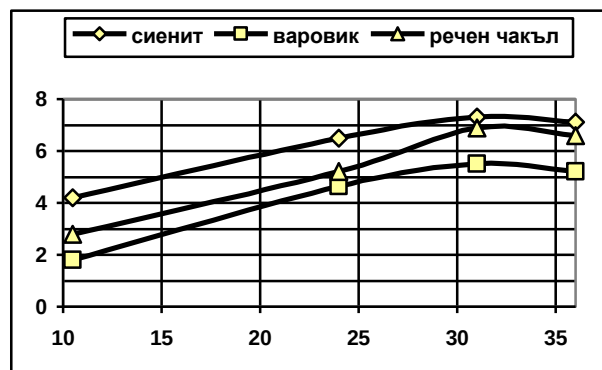
Записите на натоварванията получавани от измервателната апаратура се записваха в паметта на персонален компютър с помощта на аналогов-цифров преобразувател /АЦП/. Получените дискретни записи се анализираха с помощта на EXCEL и MATLAB. Получените резултати с представени на графиките на фигури от (6) до (10).



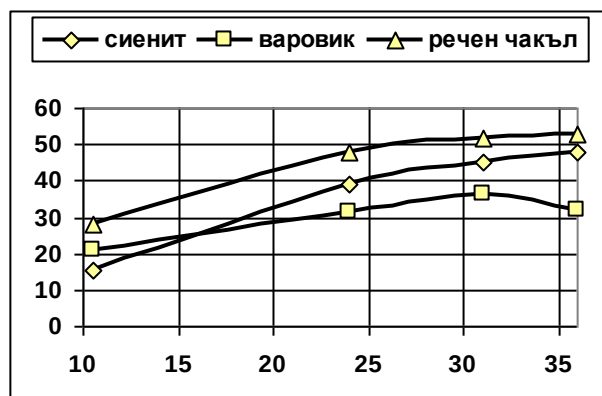
Фиг. 2. Разход на мощност [kW] в зависимост от периферната скорост [m/s] при два чука.



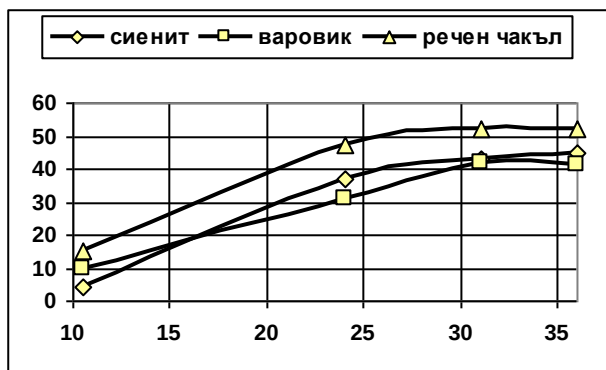
Фиг. 3. Разход на мощност [kW] в зависимост от периферната скорост [m/s] при три чука.



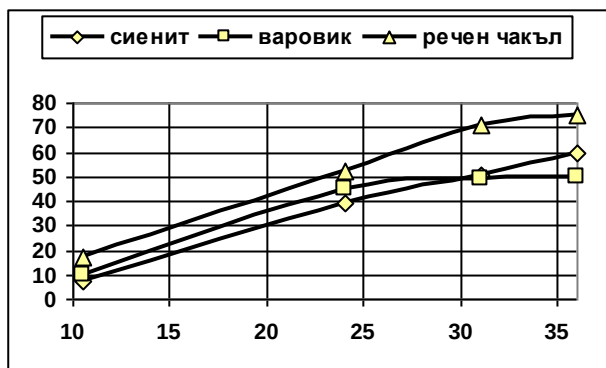
Фиг. 4. Разход на мощност [kW] в зависимост от периферната скорост [m/s] при четири чука.



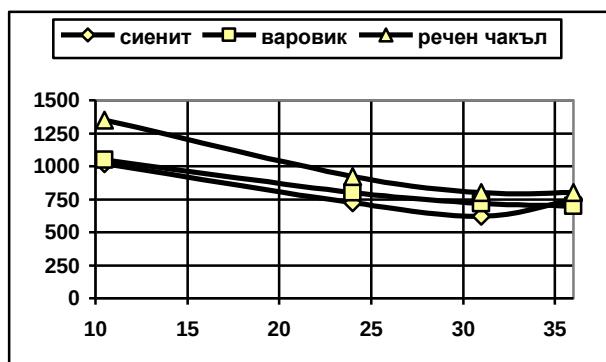
Фиг. 5. Степен на трошене в зависимост от периферната скорост [m/s] при два чука.



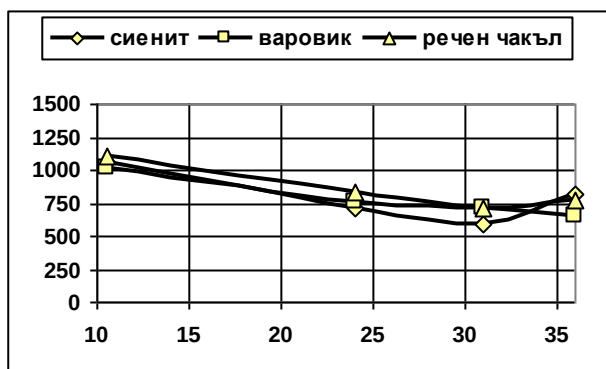
Фиг.6. Степен на трошене в зависимост от периферната скорост [m/s] при три чука.



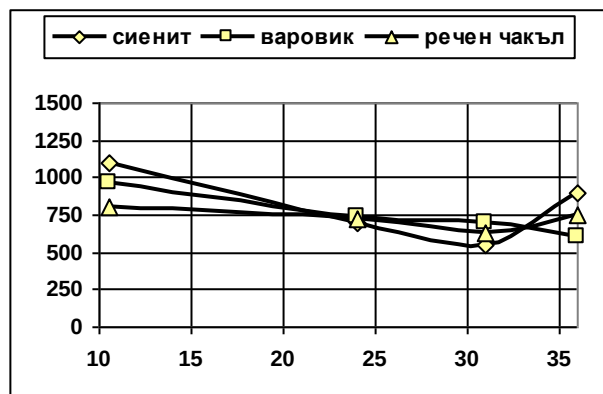
Фиг.7. Степен на трошене в зависимост от периферната скорост [m/s] при четири чука.



Фиг.8. Производителност [kg/h] в зависимост от периферната скорост [m/s] при два чука.



Фиг.9. Производителност [kg/h] в зависимост от периферната скорост [m/s] при три чука.



Фиг.10. Производителност [kg/h] в зависимост от периферната скорост [m/s] при четири чука.

Изводи

Изразходваната мощност варира в зависимост от скоростта на въртене, натрошавания материал и броя на чуковете върху ротора. Освен това тя показва тясна връзка с производителността и степента на трошене. Най-енергопоглъщаем е сиенитът, след него следват речният чакъл и варовика. Там, където степента на трошене е най-ниска имаме най-малък разход на енергия.

Степента на трошене е взета по отношение на средния диаметър на изходния продукт и натрошения материал. Те са пресметнати по тегловния метод. От графиките ясно личи, че най-едрите фракции преобладават в проби получени при най-малката работна скорост и четири чука.

Литература

- Цветков Х.К. „Обогатителни машини“, ДИ „Техника“, София, 1988г.
- Freund L.B. „Dynamic Fracture Mechanics“, Cambridge University Press, Cambridge, 1998
- Lynch A.J. „Mineral crushing and grinding circuits“, Elsevier scientific publishing company, Amsterdam, 1977.
- Saouma V.E. „Fracture mechanics“, University of Colorado, 2000

МЕТОДИКА ЗА СИНТЕЗ НА ДВУМАСОВИ ВИБРАЦИОННИ МАШИНИ

Емил Асенов Цуцекон¹, Петко Недялков², Лъчезар Лазов³, Драгомир Вражилски⁴

¹ ТУ – София, МФ, кат. ИЛПТСТ, emil_assenov@yahoo.com

² ТУ – София, МФ, кат. ИЛПТСТ, nedpetko@mail.bg

³ ТУ – София, МФ, кат. ИЛПТСТ, lcho@mail.bg

⁴ ТУ – София МФ, кат. ИЛПТСТ, vrajilski@bitex.bg

РЕЗЮМЕ. В работата се създава методика за синтез на кинематични и силови параметри на двумасови вибрационни машини. На базата на съставена система диференциални уравнения за двумасови вибрационни машини с две степени на свобода се анализират значимите параметри и се дават препоръки за избор на основните кинематични и динамични параметри на вибрационни машини. Анализира се и пусковия процес като се отчита променливата смущаваща сила в този етап на работата на вибрационната машина. Създадената методика може да се прилага за синтез на основните параметри на вибрационни мелници, вибрационни пресеватели, вибрационни сепаратори.

КЛЮЧОВИ ДУМИ: моделиране, двумасов модел, вибрации, динамика.

METHODIC FOR SYNTHESIS OF TWO-MASS VIBRATING MACHINES

Emil Tzutzev¹, Petko Nedyalkov², Lachezar Lazov³, Dragomir Vrazhiski⁴

^{1,2,3,4} TU – Sofia, Faculty of Mechanical Engineering

ABSTRACT. The aim of this job is to create method for synthesis of kinematical and dynamical parameters of two-mass vibrating machines. There is analysis of important parameters based on the solved system of differential equations. Also there are recommendations for the choice of the basically kinematical, dynamical and energetically parameters of the vibrating machines. The starting process has been analysed. Application of this methodic is suitable for the synthesis and choice of basic parameters of vibrating comminution mills, vibrating screens, vibrating separators.

KEY WORDS: modeling, two-mass model, vibrations, dynamics.

Въведение

Както е известно от механиката трептящите системи могат да бъдат разглеждани като едно и многомасови. Многомасовите системи са такива, при които еластичната система на окачване на съсредоточените или разпределените маси не позволява еквивалентна замяна с едномасов модел. Използването на много масови модели и в частност на двумасов, позволява да се използват различни динамични явления, като резонанс, антирезонанс. Резонансните явления при едномасовите системи най-често са вредни и водят до нарушения целостта на машинния агрегат. При двумасова е възможно вредните ефекти да бъдат избегнати. Положителните ефекти при използване на резонансни ефекти е възможността за използване на ефекта на динамично усилване т.е. - минимална енергия за задвижване, а при използване на антирезонансни е ефектът на динамично гасене, широко използван във виброгасенето и виброизолацията. Конструирането и експлоатацията на такава система обаче е свързано с определени трудности, част от които са наличие на паразитни резонанси, нестабилност на преходните процеси и т.н.

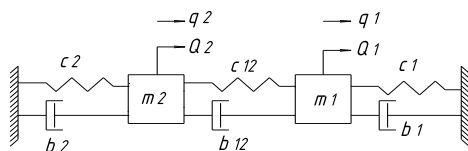
Преодоляването на недостатъците на двумасовите системи е част от задълбочен теоретичен и експериментален анализ на процесите и явленията свързани с динамиката на двумасови механични системи, част, от която е синтезът проведен в настоящата работа.

Двумасови системи могат да бъдат използвани при вибрационни пресеватели, сепаратори, мелници и т.н.

Изследване и резултати

Теоретичното изследване започва с изграждането на коректен математически модел на системата. Определят се всички масови, еластични параметри, както и съпротивителните и смущаващи сили, които влияят на движението на системата. Тези параметри могат да бъдат измерени експериментално, а част от тях могат да бъдат получени при изграждането и изследването на CAD модела на машината.

На фиг. 1 е дадено графично представяне на двумасова механична система. Параметрите на системата са съсредоточени, движението е само по една транслационна координата.



Фиг. 1. Двумасова система

В настоящото изследване масата на материала върху машината се приема като присъединена към съответната маса на трептящата ситовата повърхност.

Динамиката на системата се описва със система диференциални уравнения. За коректно получаване на параметрите на системата се използват диференциалните уравнения на Лагранж от втори род:

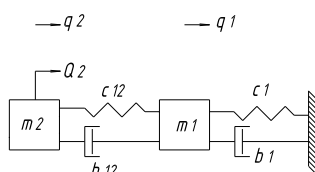
$$\frac{d}{dt} \frac{\partial E_k}{\partial \dot{q}_j} + \frac{\partial E_p}{\partial q_j} = Q_j - \frac{\partial \Phi}{\partial q_j}, j = 1 \div s, \quad (1)$$

където:

E_k – кинетична енергия; E_p – потенциална енергия;

Φ – дисипативна енергия; Q_j – обобщена сила.

Често едната от връзките към неподвижните опори се премахва: $c_2 = 0; b_2 = 0$, също и задвижването се локализира в една от масите: например $Q_1 = 0$.



Фиг. 2. Двумасова система

При тази система изразите за кинетичната, потенциалната и дисипативната енергия са:

$$E_k = \frac{m_1}{2} \cdot \dot{q}_1^2 + \frac{m_2}{2} \cdot \dot{q}_2^2 \quad (2)$$

$$E_p = \frac{c_1}{2} \cdot x_1^2 + \frac{c_{12}}{2} \cdot (x_1 - x_2)^2 \quad (3)$$

$$\Phi = \frac{b_1}{2} \cdot \dot{q}_1^2 + \frac{b_{12}}{2} \cdot (\dot{q}_2 - \dot{q}_1)^2 \quad (4)$$

Получават се следните уравнения за движение:

$$m_1 \ddot{q}_1 + c_1 \cdot q_1 + c_{12} \cdot (q_1 - q_2) + b_1 \cdot \dot{q}_1 + b_{12} \cdot (\dot{q}_1 - \dot{q}_2) = 0 \quad (5)$$

$$m_2 \ddot{q}_2 + c_{12} \cdot (q_2 - q_1) + b_{12} \cdot (\dot{q}_2 - \dot{q}_1) = Q_j \quad (6)$$

Системата ДУ се представя в матричен вид:

$$A \times \ddot{q} + B \times \dot{q} + C \times q = Q, \quad (7)$$

където:

$$A = \begin{pmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{pmatrix} \quad C = \begin{pmatrix} c_1 + c_{12} & -c_{12} \\ -c_{12} & c_{12} \end{pmatrix}.$$

Матрица на В има същата структура, като С.

Представянето на системата ДУ в каноничен вид е:

$$\begin{pmatrix} \dot{q} \\ \ddot{q} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -A^{-1}C & -A^{-1}B \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} q \\ \dot{q} \end{pmatrix} \quad (8)$$

За да се определят собствените стойности и собствените вектори на системата, се използва каноничното уравнение на недемпфираната система:

$$\begin{pmatrix} \dot{q} \\ \ddot{q} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -A^{-1}C & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} q \\ \dot{q} \end{pmatrix} \quad (9)$$

От полученото матрично уравнение лесно се определят собствените кръгови честоти, които са всъщност нулите на детерминантата от следната матрица:

$$\Omega = (C - \omega^2 \times A)^{-1} \quad (10)$$

Собствените честоти се пресмятат от: $F = |Im \Omega|$.

Амплитудно-честотните и фазово-честотните характеристики на системата се получават при използване на матричното уравнение на демпфираната система:

$$\Omega = (C - \omega^2 \times A + D^* \omega^* B)^{-1} \quad (11)$$

Амплитудно-честотните и фазово-честотните характеристики позволяват много лесен анализ на режимите на работа на системата, и улесняват в следващия подбор на следните три характерни режима на работа:

а) динамично усилване – когато принудената честота съвпадне с една от собствените честоти на системата. При този резонансен случай се реализира задвижване на системата с минимална енергия.

б) динамично гасене – когато се реализира режим на антирезонанс. При този случай се нулират динамичните сили във фундамента.

в) динамична стабилизация – когато амплитудите на съответната маса не зависят от параметрите на масата.

За конкретен конструктивен пример ще се разгледа вибрационен пресевател със следните параметри: $M = 4000 \text{ kg}$, $X = 0.015 \text{ mm}$, $\omega = 102.63 \text{ rad/s}$.

Ако реализираме конструкция на този пресевател като едномасова система, смущаващата сила би следва да бъде: $F = M \cdot X \cdot \omega^2 = 4000 \cdot 0.015 \cdot 102.63^2 = 6.319 \cdot 10^5 \text{ N}$.

Реализирането на такива динамични сили води до ниска надеждност на лагерирането.

В този случаи подходящо е използването на ефекта на динамично усилване. Използва се смущаваща сила с честота съпадаща с една от собствените честоти на системата. Детерминира се следната матрица със собствените честоти на системата:

$$\Omega = (\omega_1, -\omega_1, \omega_2, -\omega_2)^{-1}.$$

Развитието на вековото уравнение има следният вид:

$$\Omega = (c_1 + c_{12} - \omega_1^2 * m_1) * (c_{12} - \omega_1^2 * m_2) - c_{12}^2 \quad (12)$$

Решението на тази система уравнения, в случая 2 квадратни уравнения дава изразите, от които се пресмятат коравините на пружините, така че системата да работи в резонанс. Дадените от Бауман (1970) изрази са олекотени и опростени, като се пренебрегва влиянието на c_1 върху c_{12} . Точните изрази от решението на тази система са доста обемисти, а решенията са двойни. Дават се числените стойности на еластичните коефициенти за посочената по-горе машина.

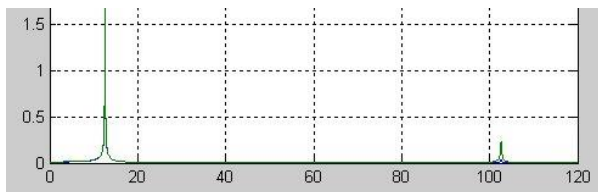
$$\omega_1 = 12.57 \text{ rad/s}, \omega_2 = 102.63 \text{ rad/s}$$

$$m_1 = 4000 \text{ kg}, m_2 = 1500 \text{ kg}$$

$$c_1 = 873541, c_{12} = 1.14234 * 10^7; c_2 = 4.1886 * 10^7, c_{12} = 238238$$

Първите стойности на решението обуславят търсеният случай на динамично усилване.

На фиг. 3. и фиг. 4. са дадени амплитудно-честотните и фазово- честотните характеристики на така параметризираната система.

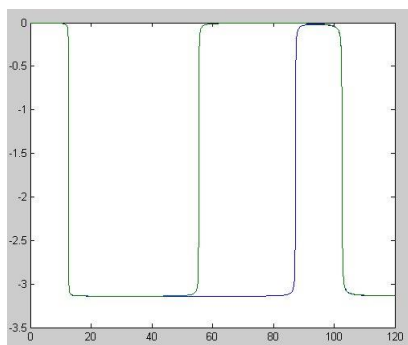


Фиг. 3. Амплитудно-честотни характеристики.

Вторите стойности на решението също са реални, но не отговарят на условието за предаване на минимална сила към фундамента.

Като обобщение, за да е възможно синтезиране на двумасова система, е необходимо да бъдат известни:

- масовите параметри на системата;
- честотни параметри на динамичната система.



Фиг. 4. Фазово-честотни характеристики.

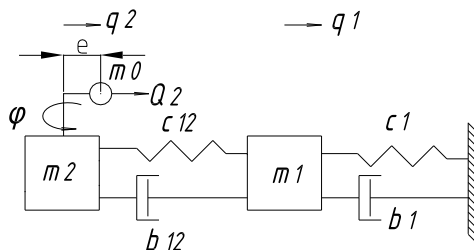
Най-често параметрите на едната маса се подбират в зависимост от технологичен показател на исканата машина. Честотните параметри се избират чисто практически:

- първа резонансна честота – от условието за минимизиране на силата предавана към фундамента;
- втора резонансна честота – да съвпада с честотата на възбуждащата сила.

За първоначално детерминиране на масовите параметри е най-лесно да се подбере съотношение между двете маси на двумасовата система - $k_m = m_1 / m_2$. Първи етап е избор на схемата на двумасовата система. Втори етап включва подбор на това отношение в зависимост от различни критерии:

- конструктивни и якостни критерии;
- геометрични и ергономични критерии;
- енергетични и мощностни критерии.

При случая на динамично усилване системата е в резонанс и теоретичните мощност и енергия за задвижване, клонят към нула за консервативни системи, а в останалите случаи са равни на енергията на загубите в механичната система. Т.е. енергетично и мощностно условие за задвижване на системата в установен режим не могат да бъдат дадени. Енергетично условие за задвижване на системата може да бъде дадено само за пусковия процес.



Фиг. 5. Двумасова система

Придържаме се към системата дадена на фиг.5. записваме кинетичната и потенциалната енергия съгласувано с Beer (1988), получават се следните изрази:

$$\begin{aligned} E_k &= \frac{1}{2} * [J_0 * \dot{\varphi}^2 + m_1 * \dot{q}_1^2 + m_2 * \dot{q}_2^2] + m_0 * l * \dot{\varphi} * \dot{q}_2 * \cos \varphi \\ E_p &= m_0 * l * \sin \varphi + \frac{1}{2} * [c_1 * q_1^2 + c_{12} * (q_1^2 - q_2^2)] \\ \Phi &= \frac{1}{2} * [b_0 * \dot{\varphi}^2 + b_1 * \dot{q}_1^2 + b_2 * \dot{q}_2^2] \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} Q_2 &= m_0 * e * \dot{\varphi}^2; M_{cp} = 0.5 * d * \mu * m_0 * l * \dot{\varphi}^2, \\ J_0 &= e^2 * m_0 + J_{об} \end{aligned} \quad (14)$$

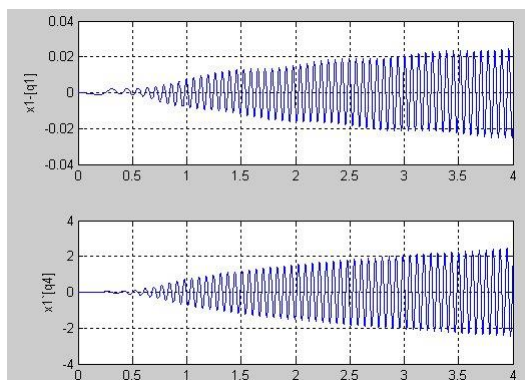
където:

- M – въртящ момент на двигателя;
- M_{cn} – съпротивителен момент в лагерите;
- J – инерционен момент на вибровъзбудителя и двигателя;
- m_0 - маса на дебаланса.

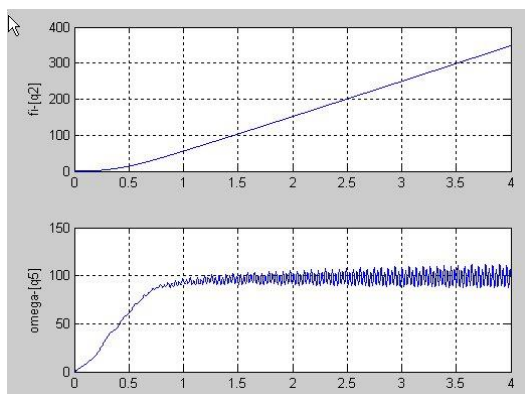
ДУ за движението на системата по време на пусковия процес са:

$$\begin{aligned}
m_1 \ddot{q}_1 + c_1 \dot{q}_1 + b_1 q_1 &= 0 \\
m_2 \ddot{q}_2 + c_1 \dot{q}_1 + c_{12} (q_1 + q_2) + b_1 q_1 + & \\
+ b_{12} (\dot{b}_1 + \dot{b}_2) m_2 \dot{q}_2^2 + m_0 I \dot{\varphi}^2 \sin \varphi &= Q_2 \\
J_0 \ddot{\varphi} + m_0 g e \cos \varphi + b_0 \dot{\varphi} &= M - M_{cn}
\end{aligned} \quad (15)$$

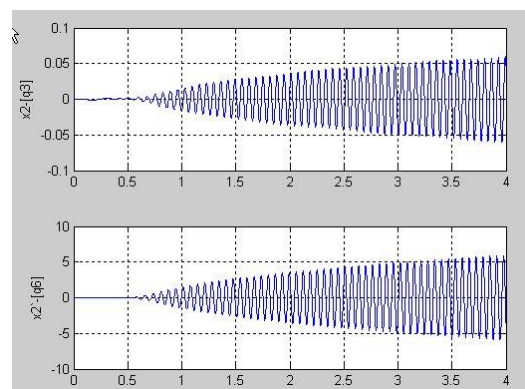
Решенията на системата ДУ за времето на пусковия процес са дадени в графичен вид:



Фиг. 5. Виброскорости и амплитуди на първа маса.



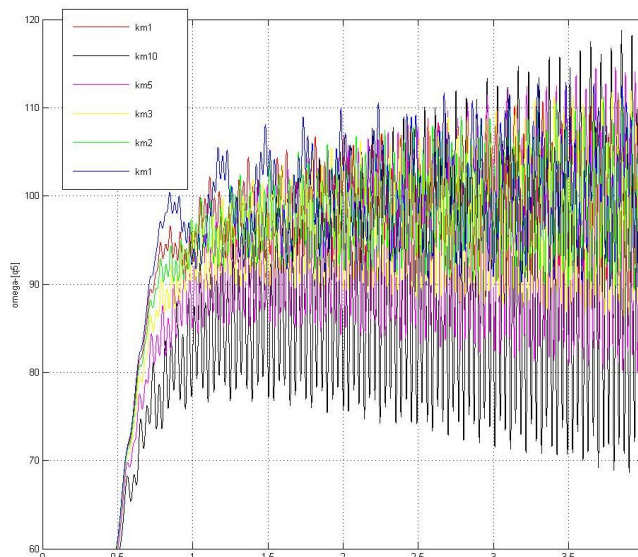
Фиг. 6. Ъглова скорост и ъгъл на завъртане на ротора на вибровъзбудителя.



Фиг. 7. Виброскорости и амплитуди на втора маса.

Изследват се пусковите характеристики на системата при различно съотношение на масите k_m . Подобно изследване е дадено за пръв път от Зомерфелд и носи неговото име - Йорданов (2004).

Препоръчана за публикуване от Редакционен съвет на секция Механизация, електрификация и автоматизация на мините



Фиг. 8. Пускови процеси при различно k_m .

На фиг. 8. са насложени графиките на изменение на ъгловата скорост на вибрационния вал при различно съотношение на масите k_m .

Основни изводи от изследването на пусковите характеристики са:

- при съотношение k_m близко до 1 (синя линия – фиг.8.) изменението на ъгловата скорост е със стабилен размах и ниска честота. Т.е. пускането е трудно, но стабилно.
- при съотношение k_m близко до 10 (черна линия – фиг.8.) изменението на ъгловата скорост е с нестабилен размах и висока честота. Т.е. пускането е лесно, но нестабилно. В този случай ъгловата честота се колебае около установената честота на вала, което е вредно за цялата система на задвижване.
- препоръчително съотношение k_m е в диапазона $1.5 \div 3.5$.

Изводи

1. Създадена е методика за синтез и анализ на кинематичните и динамични параметри на двумасови вибрационни машини.
2. Изследва се пусковия процес на двумасови вибрационни машини с отчитане ефекта на Зомерфелд.
3. Създадената методика е приложена за реална вибрационна машина.

Литература

- Бауман В. А. 1970. *Вибрационные машины в строительстве и производстве строительных материалов*. М. „Машиностроение“.
- Йорданов Й. Т. 2004. *Приложение на MatLab в инженерните изследвания – Част I и II*. Русе. „Русенски Университет“.
- Beer F. P. & E. R. Johnston, Jr. 1988. *Vector Mechanics for Engineers: Dynamics*. USA “McGraw Hill Book Company”.

THE AMELIORATION OF THE NON-UNIFORM LOAD DISTRIBUTION IN SHOULDERED THREADED CONNECTIONS USED FOR THE LARGE DIAMETER DRILL STEM

Adrian Creitaru¹, Alexandru Pupazescu²

^{1,2} *Petroleum-Gas University, Ploiesti, Romania*

ABSTRACT: One of the most commonly employed connections for large diameter drill stem components is the shouldered threaded one. Due to high axial and torsional load, these joints can use a special asymmetric thread. For this type, the stress and deformation states are revealed using the Finite Element Method. As acknowledged, the load distribution over the spires is non-uniform. Consequently, it causes the development of high stress areas in the proximity of the shoulder. The overloaded state of the first spire engaged is obvious. Therefore, the root of its active flank becomes a hard stress concentrator. The present paper proposes a method for the overload state amelioration by using the fine pitch adjustment. It can be made of some of the spires near the shoulder, at the pin of the joint. As a result of the FEM application, the stress maps obtained show the maximum level in a certain ameliorated situation. The paper also determines the optimal pitch adjustment proper to a determined load state.

ПОДОБРЯВАНЕ РАЗДЕЛЯНЕТО НА НЕЕДНОРОДНИЯ ТОВАР ЧРЕЗ ВРЪЗКИ, ИЗПОЛЗВАНИ ПРИ БУРГИЯ С ГОЛЯМ ДИАМЕТЪР

Адриан Крейтару¹, Александру Пупазеску²

^{1,2} *Университет за нефт и газ, Плоести, Румъния*

РЕЗЮМЕ. Една от най-натоварваните връзки при употребата на бургията с голям диаметър е раменната. Във връзка с голямото аксиално и торзиално натоварване, тези връзки могат да използват специални асиметрични нишки. При този вид свързвания, състоянията на напрежение и деформация се определят чрез използване на Метода на крайния елемент (FEM). Тъй като е прието, че разпределението на товара над шпиковете (спиралата) не е еднородно, то това причинява образуването на зони с голямо натиск на местата близо до рамото. При първото натоварване, претоварената зона е очевидна. Поради това в дъното на неговият активен фланг настъпва концентрация на високо напрежение. Настоящата статия предлага метод за облекчаване на претоварените зони, чрез използване на фина настройка. Това може да бъде направено на няколко пружини близо до рамото, при мястото на съединението. Като следствие от приложението на FEM, напрежение, което се получава показва максималното ниво в определено облекчено положение. В статията също така са определени подходящи нива на натоварване за даден товар.

1. General outlook

1.1. Large Diameter Rotary Blind Drilling

The large diameter Rotary blind drilling uses a similar method of oil & gas drill practice.

Though performing methods are similar, the characteristics of the big hole are different. The depth of the hole is, generally, in the 200...600 m domain (in seldom cases, up to 1000 m, or more) and the nominal diameter goes to 2,5...6 m (Creitaru, 2004; Lordache, 1983).

The stem structure is similar to the conventional drilling but the overall dimensions and weight of the components (those which determine high level loads strain and stress) should be mentioned.

The drill unit has the same functions as usual for the drill stem movement: the rotary and thrust of the rock bit. The sludge (and liquid or compressed air, if necessary) circulation determines the structure and type of pipes. In any case, the drill pipe joints can be used under one of following three forms:

- *threaded shouldered connections;*

- *flanged connections;*
- *bayonet connections.*

As known, the threaded and the flanged connections are the most frequently used. This paper refers only to the threaded joints.

The threaded conical shouldered connections, used in large diameter drilling, have specific geometry (Lordache, 1983). It refers to the asymmetry of the thread profile, which is obviously different by the API well known symmetrical profile.

The stem building is similar to the petroleum activity, by adding successive pipes to the tubular structure. Each make of the threaded joint requires the pre-load torque (M_{ts}).

Last studies on pre-load torque (Creitaru, 2002; Creitaru, 2004) recommend, as a possible solution, the differential torque choice.

That means to calculate and apply – for each $k=(1...n)$ joints the specific $M_{ts}^{(k)}$ values, that involve specific and gradual axial pre-load, $F_o^{(k)}$, for each of them. The stem structure, general load and each joint (connection) load are shown in figure 1.

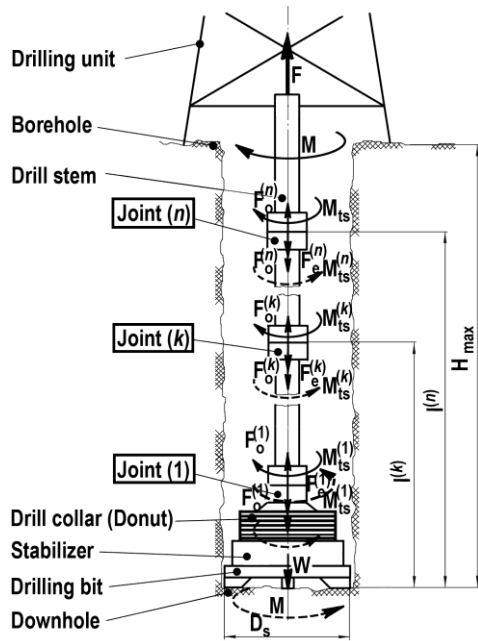


Fig. 1. The general stem structure and load; each joint (1 – n) load

1.2. The loaded condition of the stem connections

The differential torque, if positional numbering is from (1) – up to the drill collars to (n) – at the mouth of the bore are in following relation (Creitaru, 2004):

$$M_{ts}^{(1)} < M_{ts}^{(2)} < \dots < M_{ts}^{(k)} < \dots < M_{ts}^{(n)} \quad (1)$$

The equation above determines a similar axial pre-load distribution, at the make joints moment:

$$F_o^{(1)} < F_o^{(2)} < \dots < F_o^{(k)} < \dots < F_o^{(n)} \quad (2)$$

Figure 2 shows the overall axial load for the “Joint k” (a) and the conventional “load-deformation” diagram (b).

After the initiation of pipes’ connections (fig. 2., b, line 1), stem section made is a running tool into the well. This moment, the axial load of each connection is changing: every component has its own resultant of all forces (fig. 2., b, line 2).

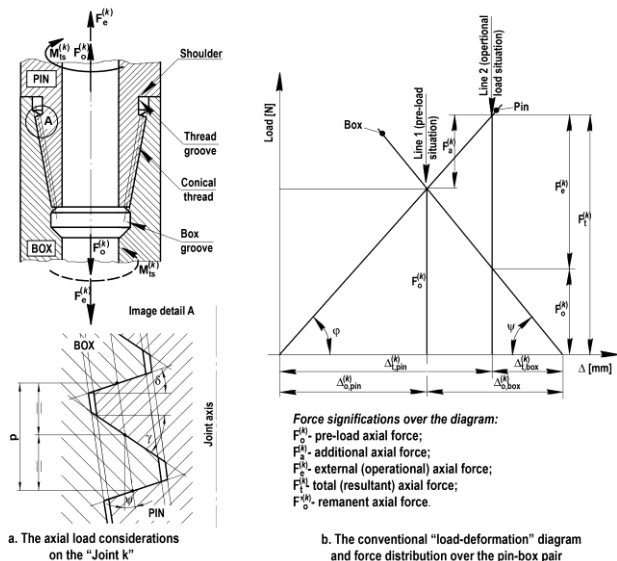


Fig. 2. The overall axial load for the “Joint k” (a) and the conventional “load-deformation” diagram (b).

The load-deformation diagram shows the different strain of both components, in the several two situations:

- when the *pin* and *box* components are made-up; the $M_{ts}^{(k)}$ application – for each (k) joint – involves different axial pre-loads, $F_o^{(k)}$, that determines axial tension for the pin and axial compression for the box; the mechanical phenomena is described by the line 1 (fig. 2.1., b);

- when pipes are running into the well, the resultant load for the joint is defined by the line 2 of the diagram (fig. 2.1., b); the pin is overloaded cause the external (operational) force, $F_e^{(k)}$ - equivalent of the bottom resultant weight; the total (resultant) axial tension for the pin becomes $F_t^{(k)}$; the box load situation is also changed this case; the axial compression decreases at the $F_o^{(k)}$ level.

The intercourse for these forces (as related axial loads) is well known as the load-deformation theory.

When operational axial forces $F_e^{(k)}$ become known using the weight cumulative calculus, the remnant axial forces can be determined by the equation:

$$F_o^{(k)} = (0,25 \dots 0,5) \cdot F_e^{(k)} \quad (3)$$

Equation (3) offers certain comments because the remnant force – required for the seal condition on shoulders – can be substantially reduced, in case of airlift internal circulation; this case, the remnant axial force could be recommended:

$$F_o^{(k)} = (0,15 \dots 0,4) \cdot F_e^{(k)} \quad (3')$$

In consequence, the resultant (total) axial load – needed for the pin dimensioning – becomes:

$$F_t^{(k)} = F_e^{(k)} + F_o^{(k)} \quad (4)$$

The determination of the additional force easy comes from the reflexive relation:

$$F_a^{(k)} = k_o \cdot F_e^{(k)} \quad (5)$$

where k_o is the load factor, which depends on the complex geometry of pin and box by the rigidity factors, c_p (for pin) and c_b (for box). Usual values determined by calculus for the load factor (k_o) are a bit higher than 0,4 (Creitaru, 2004).

This force determination goes to the axial pre-load, which is necessary for the make-up torques, at each (k) level of connections. True to the pattern described in the figure 2, the axial pre-loads are:

$$F_o^{(k)} = F_t^{(k)} + F_a^{(k)} \quad (6)$$

Than, the determination of the make-up torques, $M_{ts}^{(k)}$ – for the connections (1-n) – are as following:

$$M_{ts}^{(k)} = M_{f,th} + M_{f,sh} = a_s \cdot F_o^{(k)} \quad (7)$$

where:

- $M_{f,th}$ is the frictional torque, specific for the threaded zone;
- $M_{f,sh}$ is the frictional torque, specific for the shoulder:
- a_s is the make-up factor, that can be express by the following equation:

$$a_s = \frac{d_{2,m}}{2} \cdot \operatorname{tg}(\beta_m + \varphi') + \frac{\mu_{sh}}{3} \cdot \frac{d_{e,sh}^3 - d_{i,sh}^3}{d_{e,sh}^2 - d_{i,sh}^2} \quad (8)$$

The operands in equation (8) are the acknowledged ones: $d_{2,m}$ is the thread diameter for the measurement plane; $d_{e,sh}$ and $d_{i,sh}$ are the external and internal limits of the shoulder; β_m is the incline of the thread spire; φ' is the friction ratio ($\varphi' = \arctg(\mu_{th} / \cos \delta)$) and μ_{sh} is the friction factor for the shoulder of the joint.

2. The Finite Element Method analysis of the threaded shouldered connection

2.1. The main research objectives

The Finite Element Method (MEF) is one of the most useful methods in the structure design.

Its aim is to determine a complex state of stress and strain and to emphasize the load distribution on spires of its thread. This paper is a part of an ample research plan, using a part of technical results (Creitaru, 2004).

The main research directions were following:

- to determinate the state of stress and strain for the threaded shouldered connections used for the large diameter drill stem;
- to analyse and optimize the special asymmetrical thread in use;
- to determine the main concentrators effects;
- to analyse the conditions for using the multiple thread for this kind of connections.

For these purposes, the object of modeling and analyse is one of the most used shouldered connection for large diameter stem assembly: the 14 $\frac{3}{8}$ inch size.

Last years, FEM applications on threaded connections were developed in many countries, in similar directions (Marx, 2001).

2.2. The program, modeling and structural results

For the MEF applications, as well known, there are a lot of programs to use. The 5.6 version of ANSYS program leads to good analyse results.

The model created had to include both the components of the joint: the pin and the box. The model included only the target zone of the assembly, in the shoulder's neighborhood.

Thus, strategic reasons of research determine the option for the parametric initialization of the thread; it gives the possibility of varying the geometrical elements (in successive runs): conicity, active and passive flank angles, pitch and others.

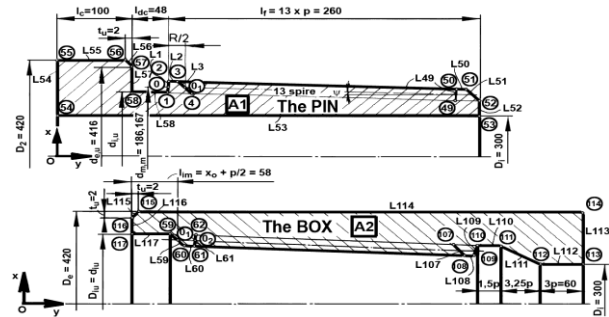
The 2D axis-symmetric model uses a number of 8696 elements (Plane 2) for this ANSYS application. The final result of the connection modelling is shown in the table 1.

Table 1.

The characteristics of the model of the joint

The type of axis-symmetric elements used for model	PLANE 2, elements with 6 nodes, 2D type
The total number of elements	8696 elements
The total number of nodes	17.722 nodes
The type and the number of contact elements	Contact pairs (for surface) TARGE 169 and CONTA 172 (for $\mu = 0,08$)

For the composed model we used generated points (that



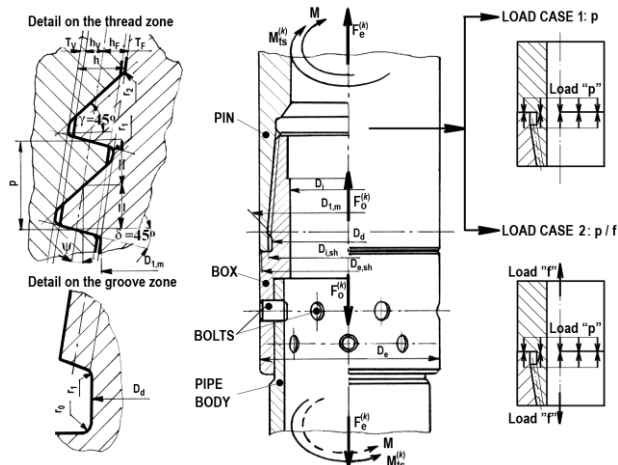


Fig. 4. Dimensional structure of connection, thread type and load cases

The values of the load were considered the heaviest in strain connection – which is the “n” joint (situated at the mouth of the hole).

The pre-load cases are synthetically detailed in the table 2. It shows the real load in practice, equivalency, and the way to simulate it by program, symbol, and practical values in use.

Table 2
Pre-loads considered in the FEM application

Real load symbol	Values used [kNm]	Equiv. load symbol	Values used [kN]	Type strain model	Symbol
$M_{ts}^{(n)}$	39	$F_o^{(n)}$	1125	Press.	p50
	78		2251	Press.	p100
	117		3376	Press.	p150

This pre-load modelling **LOAD CASE 1** shows the influence of the make-up torque (and axial pre-load force involvement) to the stress and deformation state in all connections.

The influence of combined case of **LOAD CASE 2** shows what happens when the pipes are running into the well, when resultant axial load strains the joint (n). This cases are synthetically detailed in the table 3.

Table 3
Combined loads considered in the FEM application

Real load symbol	$M_{ts}^{(n)}$ values used [kNm]	$F_o^{(n)}$ values used [kN]	$F_e^{(n)}$ values used [kN]	Type strain model	Symbol
$M_{ts}^{(n)}$ and $F_e^{(n)}$	39	1125	1360	Press.	p50/f20
			3400	Press.	p50/f50
	78	2251	1360	Press.	p100/f20
			3400	Press.	p100/f50
	117	3376	1360	Press.	p150/f20
			3400	Press.	p150/f50

2.4. Results of the FEM analysis

The results obtained by running the ANSYS application are comprised of a list of the stress and deformations – which were selected for the nodes situated on the contour – and of the axial, radial, circumferential and von Mises stress maps.

The maps were selected in two variants: for all the pin-box structure (fig. 5) – which shows the stress level all over the joint – and details-map – to concentrate only on high stress zones of interest (fig. 6).

The samples of graphic results are selected to show the general distribution of stress (σ_y , σ_x , σ_z and σ_{ech} – von Mises). Figure 5 can be used to identify the high stress zones and have a global evaluation.

Figure 6 presents samples of detailed maps. These were determined for the combined loads (**LOAD CASE 2**), for the strain symbolised **p100/f20**. These maps show more details on stress disposed in zones of high levels – the pin groove and roots of the first spires near the shoulder. However, this is the zone of maximum stress in analyse.

3. The improvement of the load distribution over the threaded shouldered connections

3.1. Preliminary useful deductions as FEM analysis output

The FEM analysis brings some useful conclusions regarding the threaded shouldered connections (Creitaru, 2004):

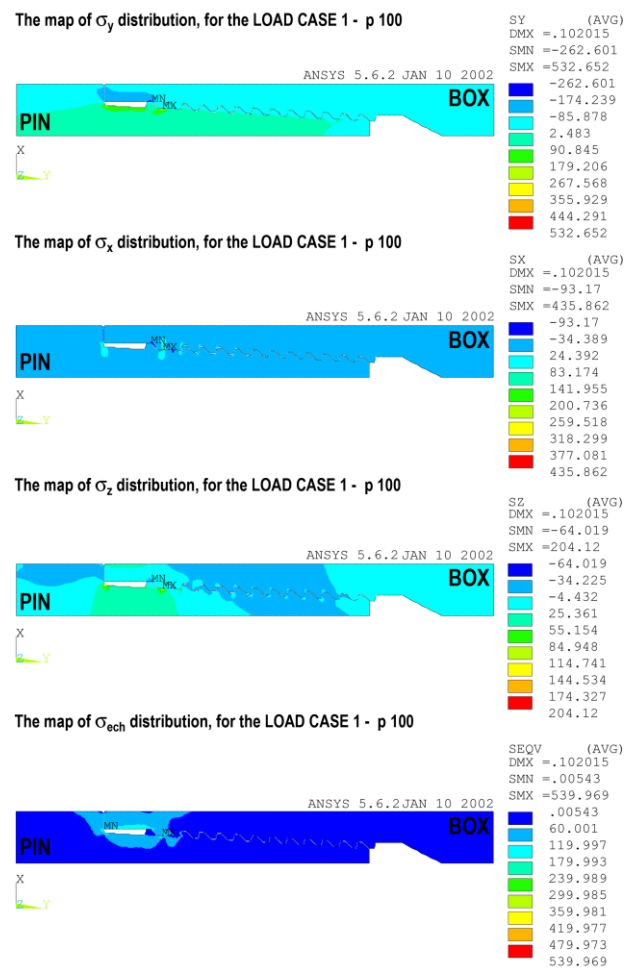


Fig. 5. Picked sample of stress maps, determined for the load p100

- the pin-box pair model shows that the higher stress level always belongs to pin's threaded zone;
- the global stress state, in both pin and box components, is, generally, at a moderate low level; the high stress zones are restricted locally;
- both pin and box components shows that the highest level belongs to the threaded and groove zones; the active flank roots areas of the pin points out the highest stress levels, cause of the strongest stress concentrator, that is, the thread (Marx, 2001);
- the stress analysis shows a non-uniform load distribution on thread spires, from shoulder to the bit of the conical pin;
- both load cases in analyse – pre-load and combined axial load – shows that the stress level is higher on first 3-4 helical spires of the pin;
- the maximum stress point – all load cases, both strength variants – is always situated at the second spire basis (root of the active flank), which is the first spire in load engagement;
- as expected, the combined strength (LOAD CASE 2) always determines higher stress levels;
- as expected, the weight of axial stress (σ_y), reported to equivalent stress (σ_{ech}), is always higher; by contrast, radial (σ_x) and circumferential stress (σ_z) levels are much lower.

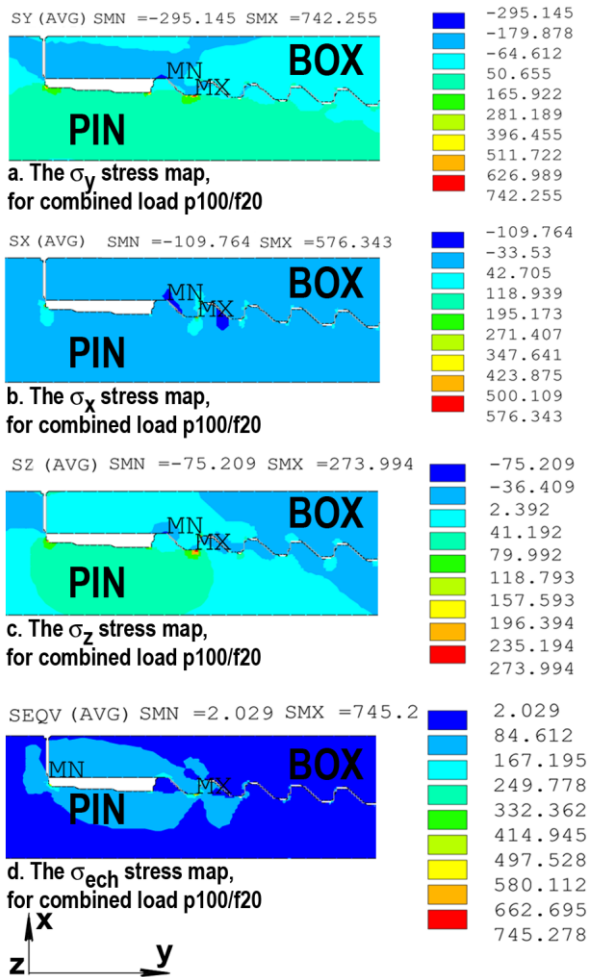


Fig. 6. Picked sample of stress maps, determined for the combined load p100/f20

3.2. The load distribution over the thread of pin and box

As presented before, the load distribution along the 13 helical spires of the thread is non-uniform.

The FEM analysis (Creitaru, 2002; Creitaru, 2004) conducted to the load distribution draw out. Figure 7 presents, as an instance, the load distributions for some of the cases analysed.

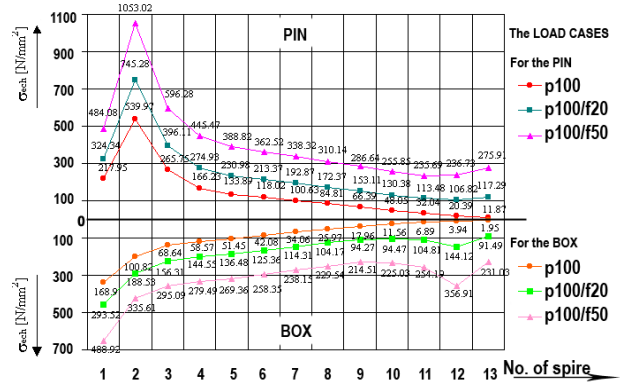


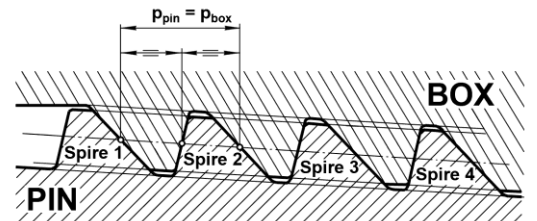
Fig. 7. The non-uniform load distribution over the spires of pin and box

It's plainly obvious that non-uniformity of load distributions is an undesirable consequence and this makes necessary to adopt measures to equalize it.

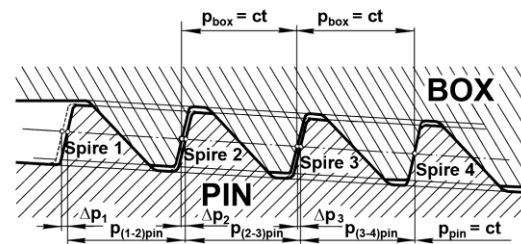
3.3. The pitch adjustment description

The pitch adjustment of the conical thread of the joint refers to a fine (and accurate) profile modification.

It can be operated to the pin or box component, but pin processing is more simply.



a. The pin-box threaded contact, without pitch adjustment



b. The pin-box threaded contact, with pitch adjustment of the pin

Fig. 8. The pin-box contact, on usual and pitch adjusted connection

The pitch adjustment means helical cut of the active flank, executed on first 2-4 spires from the shoulder. The cutting depth has to be gradual, decreasing from the first helical spire, up to the 3-rd, or to the 4-th spire, in nullification.

This pitch gradual adjustment modifies the initial contact of pin and box thread, creating a local clearance. This clearance between similar spires of pin and box are thinner from the first

spire-pair of the shoulder to the last pair (3-rd or 4-th), where this clearance is finely annulled.

This decreasing clearance determines that, initially, when make-up torque is not yet applied, the flanks contact on "higher load spires" doesn't initially exist.

Afterwards, when pre-load comes, the elastic deformations of elements modify the clearance and the re-distribution of the load appears.

The pitch modification, $\Delta p_{(i-j)}$, is decreasing, from the first pin-box pair of spires. Figure 8 shows the graphic disposal of the spires, on this area of interest.

3.4. The pitch adjustment settling

Evidently, the adjustment settle is both difficult and necessary. A suggestive method to estimate the length of pitch adjustment is by analysing the behaviour of pin deformations, along the first 3-4 spires.

For this evaluation, the FEM displacement results are the best option.

In this analysis, three different levels of pitch adjustment were settled, for both load cases (LOAD CASE 1 – p100 and LOAD CASE 2 – p100/f20):

- the **low level adjustment (s1)**, $\Delta p=0,01 \text{ mm}$; this case:
 - spires 4...13 have normal thread;
 - spire 3 has $\Delta p=0,01 \text{ mm}$;
 - spire 2 has $\Delta p=0,02 \text{ mm}$;
 - spire 1 has $\Delta p=0,03 \text{ mm}$;
- the **medium level adjustment (s2)**, $\Delta p=0,02 \text{ mm}$; this case:
 - spires 4...13 have normal thread;
 - spire 3 has $\Delta p=0,02 \text{ mm}$;
 - spire 2 has $\Delta p=0,04 \text{ mm}$;
 - spire 1 has $\Delta p=0,06 \text{ mm}$;
- the **high level adjustment (s3)**, $\Delta p=0,05 \text{ mm}$; this case:
 - spires 4...13 have normal thread;
 - spire 3 has $\Delta p=0,05 \text{ mm}$;
 - spire 2 has $\Delta p=0,10 \text{ mm}$;
 - spire 1 has $\Delta p=0,15 \text{ mm}$.

3.5. The FEM main results and interpretation

The FEM running by ANSYS determined the data list of nodes stress and displacements, and also all types of stress maps (σ_y , σ_x , σ_z and σ_{ech}). As known, using Huber Henchy-von Mises Theory, equivalent stress expression is calculated:

$$\sigma_{ec} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - (\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)} \quad (9)$$

There were selected, for these cases, the stress data nodes by contour, to compare cases (s1), (s2), (s3) and the un-adjustment case of thread.

When connection is in pre-load state (LOAD CASE 1 p100), the modifications of stress maps (in the interest zone) is shown

by the figure 9. There were selected only these cases: (s1), (s3) and, by opposite, the un-adjusted standard case (std).

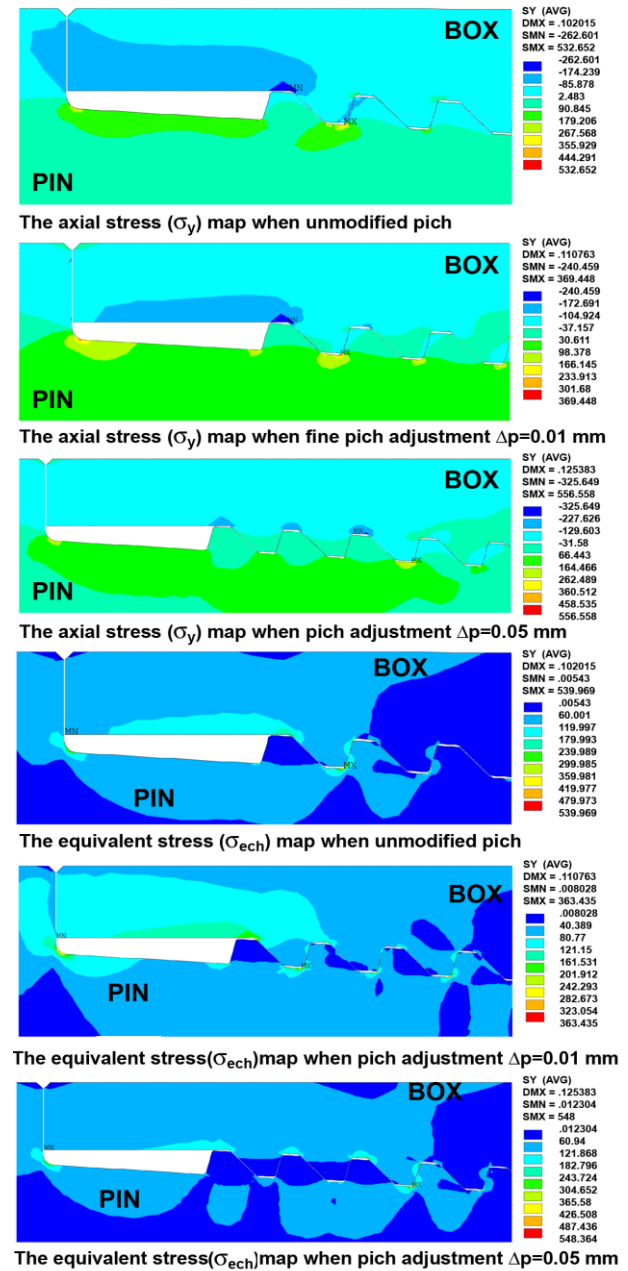


Fig. 9. Comparative stress (σ_y and σ_{ech}) maps for the LOAD CASE 1

These results give a global image of stress level evolution. A better evaluation of pitch adjustment procedure should result by analysing the stress distribution over the 13 spires, for standard (std), (s1), (s2) and (s3) situations. Figure 10 presents the stress distributions in these evolution cases. We can emphasize that:

- the (s1) case determines a substantial decrease of the maximal stress level on critical spires 2 and 3, beside a high equalization;
- the (s2) case determines a temperate decrease of the stress on spires 1-3; the max. loaded spires is transferred from the 2nd to the 4th spire;
- the (s3) case determines the transfer of the max. loaded point from 2nd to the 4th spire beside its bit raising level.

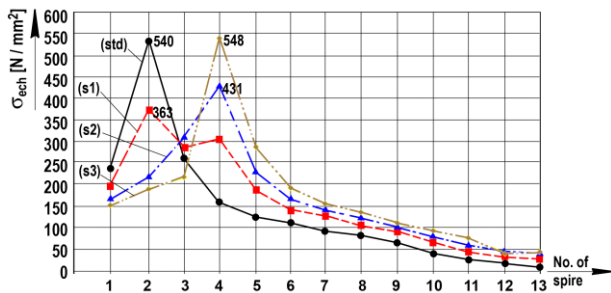


Fig. 10. The stress distribution for standard (std), (s1), (s2) and (s3) situations

The same effect – the attenuation of stress max. values – can be observed in second load case (LOAD CASE 2 – p100/f20) – for the same (std), (s1), (s2) and (s3) situations.

The graphic representation of the stress distributions, on the spires of the pin is presented in figure 11.

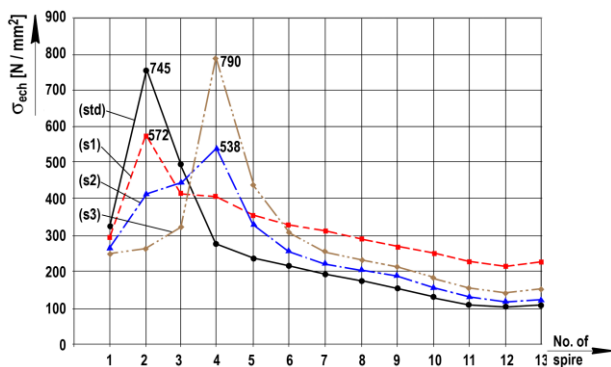


Fig. 11. The stress distribution for standard (std), (s1), (s2) and (s3) situations

Recommended for publication by the Editorial board of
Section "Mechanization, Electrification and Automation in Mine"

4. Conclusions

The FEM analysis on the connections operated by the pitch adjustment of the thread leads to the following conclusions:

- the smaller values of adjustment ($<0,01 \text{ mm}$) doesn't modify the stress distributions and so, it becomes useless;
- higher values of adjustment ($>0,03$ or $0,04 \text{ mm}$) change only the place of the max. stress development (from 2nd to the 3rd or 4th spire); some cases, the absolute max. value is a little bit higher;
- the most spectacular results are obtained for the level of adjustment in $\Delta p = 0,01 \dots 0,25 \text{ mm}$ domain (this size of joint and load level); for any other case, FEM study is needed;
- the reduction of the max. stress level on the structure is, generally, evaluated about 25...55%.

References

- Crețaru A., Pupăzescu Al. 2002. *Shouldered Threaded Connections Calculus through Nummerical Methods*, in *Petroleum and Gas Journal* no. 5 (35), Bucuresti, 84 p. (in Romanian).
- Crețaru A. 2004. *Contributions to Large Diameter Drilling Stem Connections Analysis*, PhD Thesis, Petroleum and Gas University of Ploiesti, 479 p. (in Romanian).
- Iordache Gh. et al. 1983. *Large Diameter Drilling*, Editura Tehnică, Bucuresti, 366 p. (in Romanian).
- Marx C., Teodoriu C., Pupăzescu A., 2001. *A New Method to Determine the Stress Distribution in Conical Shouldering Thread Connections*, DGMK- Tagungsbericht, Erdöl, Germany.

HOISTING ENGINE COMPOUND FACILITIES - SCIENCE AND RESEARCH APPLICATION IN CZECH REPUBLIC

Hynek Přeček

*VŠB- Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering
17. listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, CZECH REPUBLIC*

ABSTRACT. Hoisting engine type facilities (i.g. Koepe winder) ensure guaranteed output i.e. extraction of minerals (exploitation) and both personal and materials transportation services. Depth average of coal mines in extraction zone was formerly up to 1560 m (Uranium ore mines) .For the time being (at present) usually deep mines depth level is at average 1100 m approximately (ČMD, a.s. corporation. All components comprise latest both scientific development and technology latest know-how accordingly to praxis in work effectiveness requirements.

НАУЧНО-ИЗСЛЕДОВАТЕЛСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ В ЧЕШКАТА РЕПУБЛИКА ОТНОСНО КОМБИНИРАНИ ПОДЕМНИ УСТРОЙСТВА

Хайнек Пречек

Технически университет – Острава, 708 33 Острава – Поруба, Листопада 15, ЧЕШКА РЕПУБЛИКА

РЕЗЮМЕ. Този тип комбинирани подемни устройства осигуряват гарантирано количество производство, в т.ч както добити минерални суровини, така и транспорта на обслужващия персонал и необходимите материали. Средната дълбочина на въглищните мини в добивната зона до скоро беше около 1560 м (Уранови мини). В настоящия момент обикновено тези дълбочини – е приблизително около 1100. Всички компоненти обхващат последните научни разработки и технологии, най-новите познания от практиката, така че да отговарят на изискванията за ефективна работа.

1. Introduction

Development at deep-mines transportation technology , both vertical skip hoisting included personal transportation proved to be culminating during period between 1948 up to 1967 years.

The very first crisis noticed falls between 1968 – 1970 yeras. Than it came to a great step in development of minerals extraction. Simultaneously there was a new requirements on increased emphasis at vertical transportation improvements dealt with such a situation and consequently its solution.

2. Hoisting engines (TS)

So called engines of a first generation i.e. an asynchronous motor types of maximum output attainable at about 1 MW is at present time a thing of the past, (brought this point of view of up to date). The only existing exceptions are in circumstances of so called "blind holes" or holes aimed at helping underground works operation supporting.

So called engines of a second generation drive, direct-current equipped with a rotary convertor (dynamotor) of a Ward-Leao type, so these are in operation from 1960 year up to a present days.

It has to be noticed that above spoken engines were delivered via ŠKODA PLZEŇ CORPORATION up to 1965. And consequently accordingly to Czech government decission as a general general contractor (i.e. overall supplier) was dedicated ČKD Praha corporation. In 70-tieths of the previous 20-tieth century, there were introduced in operation multiple – ropes engines marked as 4k4016 . Declared engines' performance 2x1, 75MW, usable workload was 20 tons, an average hoisting speed 14ms^{-1} (16ms^{-1}).

So called engines of a third generation drive, delivered only via ČKD Praha (with exemption of transportation) than included types are as follows 2B6018/21, 2B6124 a 4K5016.

Useful workload-skip-hoisting is 35 tons, at average hoisting speed 18ms^{-1} (14ms^{-1}), transportation depth at 1000 m.

Operation process control (regulation) in former state was done with help of 12 pulse thyristor.

Main stress is laying on programmed speed control. A special precautions are taken into account as for end skip-buckets positions.

In this case there was computer technique method used and simultaneously backing up acquired data writing it into data medium (data-carrier).

For existing technologies as for both 2nd and 3th engines generation machines used, there were developed special friction (wheel-brakes disks), multiple ropes disks with help of computation techniques correspondingly relevant to those present "time-line" accessible.

In the period comprising years from 2002 year and later on, this computation technologies used when developing new construction methods were namely - finite element method (FEM).Accordingly to hoisting facilities actual state situation (TZ) than relevant steps were taken correspondingly to reconstruction requirements.

Also further on design computation and construction of the main engines compounds were realised in accord with both latest science and research know-how (knowledge) – main shafts (arbours), shafts bearings (recently friction bearings, but for the times being anti-friction bearings (or so called rolling bearings) 500 mm up to 740 mm diameter, shoe-type brake (or so called brake shoe) in recent times, now at present times it is disc modular system constructions.

9/2005 there are prepared for expedition to foreign countries hoisting engines of which parameters are as follows:

- a) 6 ropes, - hoist tower, Koepe, type 6K5012;
- b) 2-drums type 2B5024;
- c) useful workload (skip) 45 tons;
- d) speed of mining work operation 10,5 ms⁻¹;
- e) mining shafts depth 405 m;
- j) installed rated capacity 2x4 MW (Koepe)
2x2,5 MW(2B5024).

3. Vertical holes equipment

3.1. Drums type (TS)

Engines are situated in retractable holes and serve the purpose of both materials and persons transportations (at max. speed 12 m⁻¹). Equipped with 4-etage (4-floor) cages (72 person).Routing slide rails – wooden and clued guidance facility, span pieces and shaped cross-member- steel beams, U, I, shapes or angular (squared) pipes.

3.2 Friction TS (Koepe)

Operating engines a great deal are running within in ventilation holes as two-ways operation skip facility. Guiding of buckets – steel angular (squared) pipes ((150/150 or 150/200). Spans and cross-mebers – recently U, I now angular (squared) pipes.

In the event of occurrences aggressive pit water (mine waters) containing both iodine water and bromine waters and NACL, than in these cases a special materials are used designed for anticorrosive purposes.

For dynamics subsystem assessment dealt with transportation vessel (pot, container) – hole equipment facility, the mathematical model was created named „DYNAD“.

Simultaneously verification is also done accordingly to ČBÚ Praha Vyhláška č. 415/2003, Sb. regulations after every 2 years succeding and it takes place for all TZ with declared speed above 8 ms⁻¹.

For these cases there were developed on our department the digital recording system aimed at continuous recording immediate acceleration of the relevant subsystem.

Protocolarly this document is a part of audit-document, so called "Two years periodical complex audit (inspection) TZ".

4. Conclusion

For further needs of mining enterprises there are running research works within our department of which main goals are aimed at life-span prolongation namely hoisting equipment , especially main holes i.e. with diameter 7,5 m equipped with 2 operational TZ.

Science and research became a great deal a matter of computation (computing works), projects and construction of TZ and TS. It comprises cooperation of VSB – TU Ostrava, Department of Machine Parts and Mechanisms and contractors (i.e. providers, suppliers).

References

- Boroška,J., Fedorko,G.: Modelovanie namáhania drotov ocelových lán. In.XXV. NAUKOVO-DYDAKTICZNE FORUM EUROPEJSKICJ KATEDR MASZYN GÓRNICZYCH I ISTYKI, Gliwicz-Ustrń 23.-24.października 2003.
- Folta Z., Přechek H., *The Pit Equipment Working Life Prolongation*. In Proceedings the 14th internationam conference on automation in mining ICAMC2001, Helsinki university of technology, 2001, Finsko, s. 341 ... 346, ISBN 951-22-5615-0.
- Přechek H., Folta Z. *The risks at shaft hoist in Czech Republic*. In Proceedings of the international scientific session „Management of natural and technogenic risks“, University of mining and geology „St. Ivan Rilski“, 2001, Bulharsko, str. 307 ... 308, ISBN 954-9748-33-2.
- Přechek, H., Folta, Z. *Analýza napětí na jámové výstroji*. In Sborník mezinárodního semináře Nejnovější poznatky z výstavby, údržby, provozu a následné dopravy ve svislých jámách hlubinných dolů, ISBN 80-7225-007-8, 3. a 4. 12 1998 VŠB-TU Ostrava, s. 48...50 - dotisk.
- Přechek, H., Folta, Z. *The limiting terms of the traffic subsystem mine hosting vessel - shaft steel equipment*. In Sborník mezinárodní vědecké konference k 50. založení FS, září 2000, Publikace vydána na CD - ROM, Vydal VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2000.
- Vyhláška Českého báňského úřadu č. 415/2003 Sb.

ПЕРСПЕКТИВИ НА КОМПЛЕКТНИТЕ ПРЕНОСИМИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ УРЕДБИ В МИНИТЕ

Стефан Чобанов

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

РЕЗЮМЕ. Комплектните преносими електрически уредби интегрират в едно ограничено по размери пространство електрически апарати за средно напрежение (СН), за ниско напрежение (НН) и за управление и контрол на мощни агрегати, като например вентилатори за главно проветряване, мощни помпи, сонди, проходчески машини, разположени в отдалечени и трудно достъпни райони. Обективни предпоставки за тяхното създаване е прогреса в технологиите, подобрените качества и повишената компактност на електрическите апарати и новите електрически материали. Под ръководството и непосредствено участие на автора е създадена описаната подвижна електрическа уредба за захранване, управление, защита и автоматичен контрол на вентилатора на Шахта "Север" в Челопеч Майнинг".

PERSPECTIVES OF COMPLETE PORTABLE ELECTRIC SYSTEMS IN MINES

Stephan Chobanov

CMC-C Ltd., UMG "St.Iv.Rilski" Sofia, Bulgaria

ABSTRACT. The complete portable electric systems integrate inside a limited space: middle voltage (MV) electric devices, low voltage (LV) devices, and control devices for powerful drives such as main ventilation fans, powerful pumps and drills, drifting machines, located in remote and hardly accesible places. Objective precondition of their invention are the progress in the technologies field, the improved quality and compactness of electrical devices and new electric materials. Under the direct comanding of the author and with his personal involvement, the described below portable electric system for power supply, control, protection, and automatic control of the blower in "Sever" shaft, Chelopech Mining has been created.

Комплектните преносими електрически уредби разширяват своето приложение със специфичните си положителни качества:

- Възможност да бъдат доставени на обекта в готов вид, произведени и комплектовани предварително в заводски условия;
- Включването в работа става в много кратък срок;
- Преносимата конструкция позволява да се доставят до обекта с конвенционален и специализиран транспорт, като за товарно – разтоварните работи се използват кранови съоръжения;
- Възможност да се интегрират в обща конструкция ел. уредби за СН и НН, както и апаратура за управление, защита и контрол;
- Лесно се преместват на нова площадка, с минимални усилия и средства;
- Избягва се изграждането на постоянни или временни постройки, което изисква време и доставка на строителни материали. Последното е проблем при трудно достъпни райони, а монтажът на ел. уредби изисква значително повече време при по – трудните условия за работа;
- Много често преносимите уредби се оказват и с по – ниска стойност, въпреки, че икономическата им ефективност се определя преди всичко от

съкратеното време за изпълнение и пускане в експлоатация.

Спектърът на приложение на преносимите електрически уредби непрекъснато се разширява. В началото те са намирали приложение в геологопроучвателните обекти при проучването и добива на нефт, при изграждане селища и малки предприятия в трудно достъпни райони и в пустинята. По настоящем те намират широко приложение и у нас, както в промишлеността, така и в публичното строителство, но с тази особеност, че те съдържат уредби Ср.Н и НН, в някои случаи и трансформатори (Комплектен..., 2004; Многофункционални..., 2005; МКТП..., 2005). Това масово навлизане на преносимите уредби има свои предпоставки. Те са свързани с високите технологии при производството на електрическите апарати, с нови електротехнически и строителни материали, с ефективни защити от корозия, топло и хидроизолации. Една съвременна преносима уредба безпроблемно може да осигури комфортни условия както за обслужващия персонал, така и за апаратурата.

В електроинженеринговата фирма СМС – С е конструирана и се произвежда многофункционална преносима електрическа уредба /МПЕУ/. Първата бе предназначена за електрозахранване, управление и защита на вентилатора за централно проветряване на шахта "Север" в Челопеч Майнинг ЕАД, задвижван от синхронен двигател и успешно се експлоатира от пет години (Фиг. 1).



Фиг. 1. Комплетна преносима електрическа уредба (заградена в кръга) за управление на вентилаторна уредба – шахта “Север”, Челопеч Майнинг

Конструкцията на сградата е метална с носещи профили от студено изтеглени квадратни елементи (Фиг. 2) с размери 3, 20 / 6, 95 m. Стените и тавана са от стоманена ламарина 2 mm. Отвътре е облицована с гипсофазер, под който е топлоизолацията 100 mm минерална вата. Подът е двоен: отдолу с гладка ламарина, а отгоре с рифелна ламарина 4 mm. Между тях са разположени кабелните скари. За пренасяне са предвидени монтажни уши. Монтира се върху четири бетонови фундамента на височина 60 cm от повърхността.

Основните елементи на подвижната уредба са (снимка, чертеж, план):

- Разпределителна уредба средно напрежение (Фиг. 3)
- Разпределителна уредба ниско напрежение (Фиг. 4)
- Станция за управление (СУ);
- Тиристорен възбудител.

За безопасната работа при обслужване са осъществени следните блокировки:

- Забрана за отваряне вратата на килия при включен разединител – QS1 (механична);
- Срецу превключване на разединителите QS1÷QS4 под товар (електрическа);
- Забрана за едновременно включване на прекъсвачите QF1 и QF2 (електрическа).

В уредбите са въведени следните допълнителни системи:

- Алармена система “Пожар”;
- Алармена система “Нарушител”;
- Телефонна линия;

- Климатична система;
- Мълниезащити на електропроводите 6 kV и на линиите за дистанционно управление;
- Работно и аварийно вътрешно осветление;
- Външно осветление;
- Ел. захранване за собствени нужди (СН).

Управлението на вентилатора и технологичния контрол се осъществява с микропроцесорен контролер с графичен дисплей, на който се изобразяват характерните величини и състояния:

- Напор /разреждане/, Pa – с Барграф и изписана моментна стойност;
- Дебит /производителност/, m³/s – с Барграф и изписана моментна стойност;
- Честота на въртене на двигателя;
- Посока на вентилатора;
- Температурата на лагерите на вентилатора и двигателя, °C – с числа и барграфи;
- Температурата на околната среда, °C;
- Напрежението на захранване, kV – с число и барграф;
- С буквени означения се изписват алармите и зоните с аварийните състояния;
- Диагностични функции:
 - положение на лопатките на вентилатора;
 - положение на спирачката;
 - посока на пуска;
 - състояние на прекъсвачите;
 - вид на управлението – ръчно (P) или автоматично (A).



Фиг. 2. Конструкция (Скелет) на комплектна преносима ел. уредба



Фиг. 3. Електрическа уредба 6 kV



Фиг. 4. Електрическа уредба НН

Изборът на вида на управление – автоматично или ръчно, се променя ръчно от дисплея. Двата режима се осъществяват от пултовете за местно управление и за дистанционно управление (Фиг. 5).



Фиг. 5. Пулт за дистанционно управление

Краткото описание на разработената и произвеждана в СМС – С преносима уредба, характеризира действително нейната многофункционалност. За разлика от масово произвежданите (Комплектен..., 2004; Многофункционални..., 2005; МКТП..., 2005) тя съдържа освен комутационни и защитни апарати СрН и НН, адаптивна микропроцесорна система за управление и контрол за технологичен агрегат.

Преносимите многофункционални ел. уредби са ефективно решение с актуално и перспективно значение и ще намират все по-голямо приложение. Ефективността им е безспорна, когато обектите са със сравнително кратък срок на служба, когато се намират на отдалечени и труднодостъпни зони и когато бързото им пускане в работа има съществено значение, със значими икономически последици.

Литература

- Комплектен бетонов трансформаторен пост FK – 2, Филкаб, Пловдив, 2004 г.
- Многофункционални малогабаритни МКТП 250/ 20/ 0, 4 - Електрогек София, 2005 г.
- МКТП и БКТП – Pavel & Sons София, 2005 г.
- Ментешев М., Ст. Чобанов – Иновации в СМС-С електроинженеринг, Научна сесия 50 г. МГУ, Годишник МГУ, т. 47, св. III, С. 2003 г.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Електрификация на минното производство", МЕМФ

МИННАТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ – ПРИОРИТЕТ В ДЕЙНОСТТА НА “СМС – С” ЕООД

Милен Дренков, Николай Трасиев, Николай Миков

СМС-С ЕООД София, Пирдоп 2070

РЕЗЮМЕ. В доклада са разгледани най-значимите постижения на фирма “СМС-С” ЕООД в електроинженеринговата си дейност свързана с минните и металургичните предприятия: Мина “Марица изток”, Кумерио Мед, Евроманган, Челопеч Майнинг, Елаците Мед, Мина “Станянци”.

MINING ELECTRICAL POWER ENGINEERING AND AUTOMATION – PRIORITY IN THE ACTIVITY OF “СМС - С” LTD.

Milen Drenkov, Nikolay Trasiev, Nikolay Mikov

СМС-С Ltd Sofia, Pirdop 2070

ABSTRACT. Report consists the most significant achievements of company “СМС-С” Ltd in regards to its electrical engineering for mining and metallurgical plants: “Maritza iztok” mines, Cumerio Med, Euromangan, Chelopech Mining, Elacite Med, “Staniantzi” mine.

СМС-С електроинженеринг, от създаването си преди 10 години, основно е работила за мините в областта на електрическите уредби СрН и НН, както и в сферата на автоматизацията и контрола технологичните процеси.

Модернизирание на рудничните разпределителни и трансформаторни подстанции СрН и НН

Разработени са проекти за модернизирание на съществуващи подстанции в рудник “Бели Брег” – 20 / 6 kV; Мина “Станянци” – 20 / 6 kV; за подстанция 3 / руднична / 6 / 0, 4 kV; подземна подстанция 6 kV за рудник Оброчище, Евроманган. По-голямата част са реализирани, а други предстоят да се изпълнят. Модернизирани са РУ – 6 kV и РУ – 0, 4 kV в много минни предприятия.



Фиг. 1. Външен вид на КРУ преди реконструкция

Модернизацията /ретрофит/ на комплектните разпределителни устройства СрН е дейност, свързана с първите стъпки на СМС-С, която продължава и до днес. Реконструирани са над 150 КРУ, произведени в България и бившите държави ГДР и СССР. Тя обхваща замяна на маломаслените или въздушни прекъсвачи СрН с елегазови и с вакуумни камери прекъсвачи, и на електромеханичните защитни релета с микропроцесорни защиты. Тази дейност започна през 1996г. в БИМАК АД (сега Челопеч Майнинг), където са модернизирани над 95% от всички КРУ. По-късно това бе направено в Евроманган АД – мина Оброчище, в Юмикор Мед (сега Кумерио Мед), в рудник Елаците и др. (Чобанов, 2005)



Фиг. 2. Релеен отсек на КРУ преди реконструкция

На фиг. 1 и 2 са показани КРУ преди, а на фиг. 3 и 4 – след реконструкцията.



Фиг. 3. Външен вид на КРУ след реконструкция



Фиг. 4. Релеен отсек на КРУ след реконструкция



Фиг.5. Главно табло НН след реконструкция на Подстанция "Руднична" в Челопеч Майнинг.

Този подход се оказва изключително ефективен, тъй като от една страна ретрофита гарантира функционалните качества на 100% спрямо качествата на изцяло новодоставени КРУ, а от друга това се осъществява с 2 – 2, 5 пъти по-малко средства.

Реконструирана изцяло и монтирана е подстанция 206 в Юмикор Мед с микропроцесорни защиты Seram.

С пълната реконструкция на таблата за вторична комутация в ОРУ 110 kV се повиши значително надеждността на захранването на Челопеч Майнинг.

Реконструирани и модернизирани са главните табла на страна ниско напрежение (ГТНН) в голям брой подстанции: Подстанция руднична (№ 3) (фиг. 5); подстанция "Главен корпус", подстанция ССТв Челопеч Майнинг (Ментешев и др., 2003; Технически...).

Модернизиране на руднични подземни уредби

СМС-С успешно комплексно модернизира руднични подземни уредби както в частта Електро, така и в КИП и А. Подемът на шахта "Капитална" в Челопеч Майнинг е основно реконструиран. Подемната уредба на шахта "Капитална" в рудник Оброчище (фиг. 6) е оживена след дългогодишна консервация в незавършен вид. Синхронният двигател се управлява с вакуумен прекъсвач EVOLIS и е защитен с микропроцесорна защита Seram. Изцяло е проектирана и изпълнена схемата за управление, за защита и сигнализация. Проектиран е вагонообмена на хоризонта и приемната площадка. Монтирани са произведените във фирмата специални табла (фиг. 7) с мнимо схеми, пускатели и безконтактни датчици за позициониране. Вагонообменът включва голям брой датчици и крайни изключватели, функционално обединени в контролер.

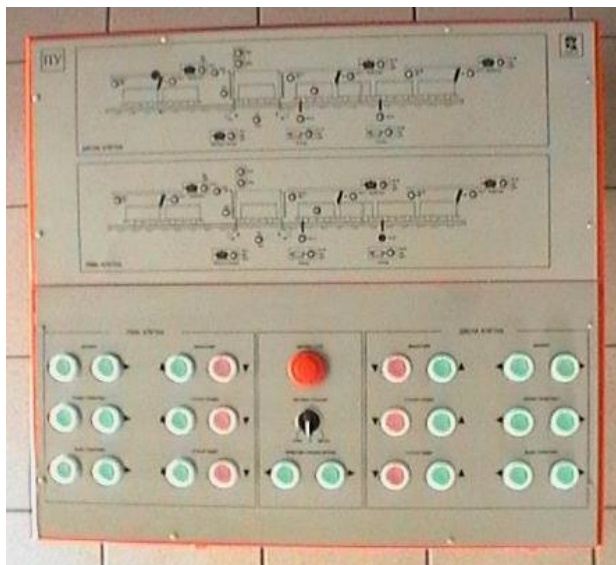


Фиг. 6. Шахта "Капитална" на рудник "Оброчище", Евроманган АД

Управление и защита на рудничните електрозадвижвания

СМС-С диктува модернизацията в управлението, защитата и автоматизацията на електрозадвижванията в мините. Преди 5 години са въведени първите честотни

управления (VSD) и софтвери в Челопеч, а в разширението на съществуващата фабрика и новото предприятие са предвидени десетки честотно управляеми задвижвания. (Технически...)



Фиг. 7. Пулт за управление с мнемосхема на вагонообмена

СМС-С в момента е единствен производител в страната на руднични пускатели и разпределителни табла в нормално изпълнение, стриктно спазвайки изискванията на БДС 11623 – 83 и БДС EN 60439 – 1.

Пускателите и разпределителните устройства са изпълнени с електрически апарати, по предпочитание на клиента, от Siemens, ABB и Schneider Electric. Специализираните защитни устройства, специфични за мините, където се прилага единствено ИТ система като: блокиращи релета от утечки BRU, релета за контрол на съпротивлението и целостта на заземителния проводник на подвижните минни електрозадвижвани машини RKZP (PL), апарати за защита от тока на утечка със защитно изключване в еднофазни и трифазни мрежи с напрежение 127 V и 220 V, защиты от прекъсване на фаза ZPF и др. (Ментешев и др., 2003; Технически...).



Фиг. 8. Пускатели ПР и разпределително табло ГТНП в руднично нормално изпълнение

Разработени са съвременни типови схеми и конструкции за пускатели и разпределителни табла с напрежение 220, 380, 660, 1000 и 1140 V с номинален ток до 800 A. На фиг. 8 са показани пускатели и табло НН.

Пускателите за двигатели с мощност над 100 kW са изпълнени с електронна защита.

Тези електрически апарати се използват масово в подземните рудници на Челопеч Майнинг, Евроманган, а модификации за TN система се произвеждат за обогатителни фабрики, открити рудници и пречиствателни станции.

СМС-С съвместно с “Металпласт” разработи и произвежда в дребни серии една изключително полезна и сполучлива конструкция на щепселно съединение за 250 A / 1000 V AC за минните, което може да се комплектова с автоматичен прекъсвач (фиг. 9). (Ментешев и др., 2003; Технически...)



Фиг. 9. Автоматичен прекъсвач с щепселно съединение за захранване на пробивна карета.

Съвместното ползотворно сътрудничество на тези две фирми е в основата на едно съвременно и перспективно съоръжение – Многофункционална преносима електрическа уредба с висока ефективност и приложимост. В една конструкция са интегрирани електрически уредби СрН, НН и КИП и А за управление на мощни вентилатори, помпи, компресори, сонди, работещи в трудно достъпни и отдалечени зони. (Технически...)

Измерване, контрол и управление на консумираната електрическа енергия

СМС-С първа в страната реагира на новата система за заплащане на електрическата енергия с въвеждане на пазарните принципи и разработи, с активното участие на специалисти от МГУ “Св. Иван Рилски”, микропроцесорна система за контрол и управление на разходите за електрическа енергия на привилегированите потребители (Стоилов и др., 2004). Наши системи са успешно въведени в Обогатителното предприятие “Елаците”, в рудник “Елаците” и в мини “Марица изток”. Системата в рамките

на всеки астрономически час не само отчита енергията, но дава препоръки за корекция, прогнозирана по критерий минимална разлика в консумираната и договорената с НЕК енергия (мощност) в края на часа. А това е важна предпоставка за заплащане на консумираната енергия по минимална цена и за намаляване на разходите на дружествата за електроенергия.

СМС-С и електробезопасността

По традициите на минната електроенергетика електробезопасността е приоритет и в дейността на СМС-С. Тя се развива в няколко посоки:

- Стриктно спазване на изискванията за безопасен труд и здраве в цялостната инженерингова дейност, доказано с липсата на злополуки от създаването на фирмата;
- Създаване на орган за контрол – “СМС-С контрол” от вид С – един от първите в страната сертифицирани по EN от Държавната Агенция “Българска служба за акредитация”;
- Компетентно решаване на проблеми по електробезопасността от едни от най-изтъкнатите в страната специалисти, работещи и сътрудничащи във фирмата.

Характерен е примера с възложената и професионално изпълнена задача за електрообезопасяване на ел. уредба НН в Абзетцера на Асарел Медет в съответствие с нормативните изисквания в Р България. Въведе се допълнително защитно изключване и от директен допир в петпроводната (3P + N + PE) IT мрежа и в двупроводната мрежа 220 V AC за оперативно напрежение. Техническото решение и изпълнението бяха високо оценени от специалистите на фирмата доставчик VOEST ALPINE.

Електроинженеринг в Металургията

През последните години СМС-С активно разви дейност и в сферата на металургията – “съседен” до мините отрасъл, с тежки условия за монтаж и експлоатация на електрическите уредби. Доказателство за завоювания авторитет на фирмата, с високо качество и професионализъм, е непрекъснато нарастващият обем и сложност на възложените задачи през 2004/2005 година в едно от водещите и ефективни металургични предприятия в страната – Юмикор Мед (сега Кумерио) в град Пирдоп.

Най-сериозната и обхватна задача, която фирмата получи и изпълни, е изпълнението на частите Електро и КИП и А в Новата пречиствателна станция за отпадни води: изградени са нови кабелни трасета (над 8 km); положени са силови и контролни кабели (над 30 km);

резервно хранване с UPS, районно осветление, пуск и наладка на най-съвременни електрозадвижвания и апарати за управление, регулиране и защита; монтаж и наладката на КИП и А обхваща апаратура на ABB, Endress + Hauser, Jumo, Yokogawa, Auma matic и др. (фиг. 10)

Интересен от професионална гледна точка беше възложеният инженеринг на нов компресор в Кислородния цех, задвижван от асинхронен двигател с кс ротор и мощност 6,2 MW (Технически...). Истинско предизвикателство бе проектирането и настройката на микропроцесорната защита на този мощен двигател, Seram 1000+ M87 съдържаща 23 параметъра за настройка.

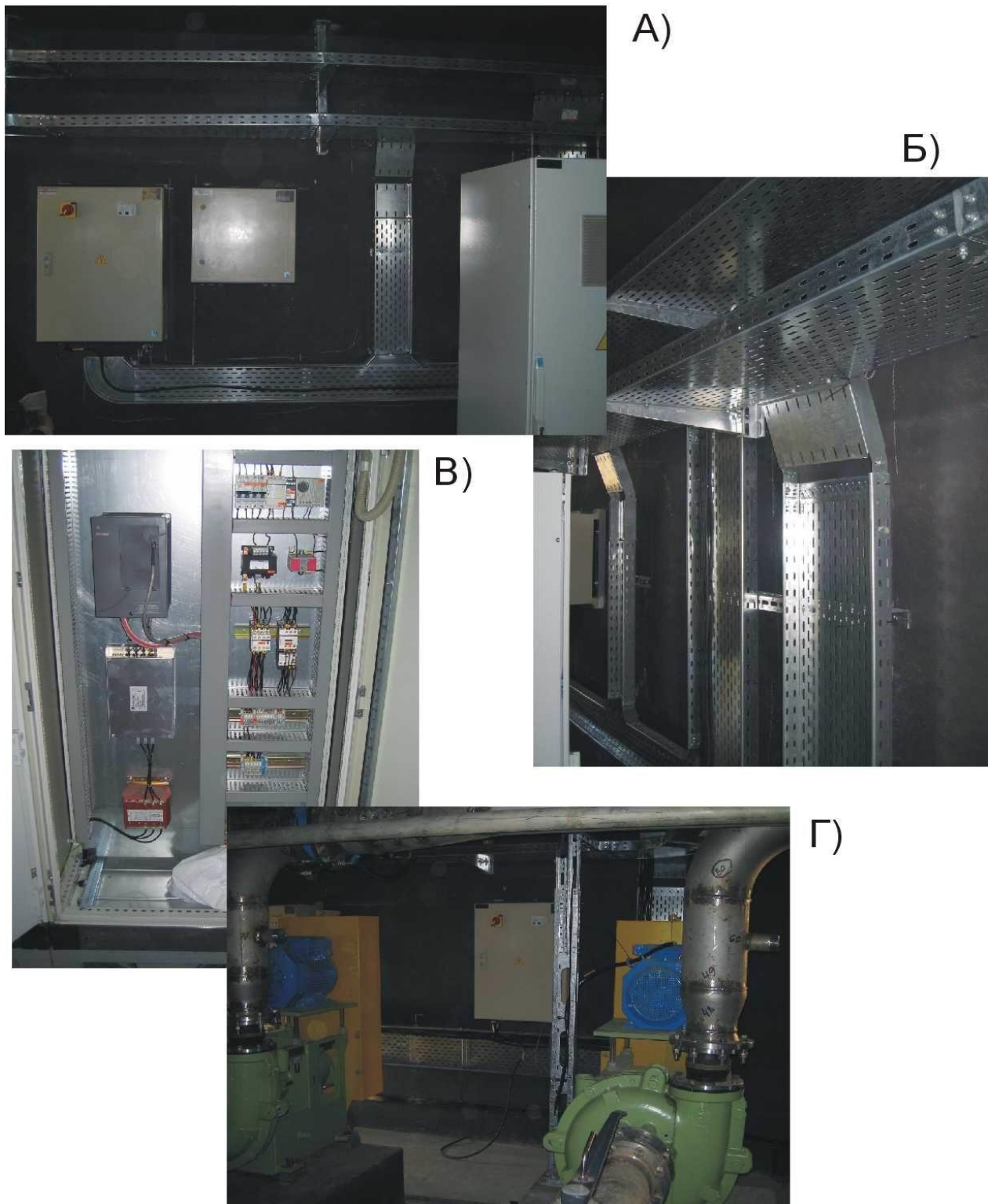
Консултантска и експертна дейност

Всички специалисти с висше и средно специално образование в СМС-С са работили продължително в мините и обогатителни предприятия. Знанията и опита в подчертано специфичната минна енергетика позволяват професионални решения и изпълнения във всички етапи на електроинженеринга – проучване, проектиране, производство, монтаж, пуск и наладка. Тези знания и опит позволяват да се извършват компетентни анализи, експертизи и консултантска дейност на най-високо ниво.

В резултат на наши анализи, препоръки и изпълнение са качествено подобрени релейни защиты в електрическите уредби СрН в “Елаците мед” АД: Хвостохранилище Бенковски 2, Обогатителния комплекс в Мирково (2000 – 2003г.), в Челопеч Майнинг АД (2004г.). Оптимизирането на чувствителността и селективността на защитите в уредбите 20 kV и 6 kV се доказва с преустановените “изгаряния” на двигатели и трансформатори СрН, с прекъснатите неселективни изключения – причина за прекъсване на технологичния процес и на произтичащите от това загуби. (Ментешев и др., 2003; Стоилов и др., 2004)

Ерудицията на специалистите от фирмата бе доказана и високо оценена от GRD Minproc Ltd, Австралия, която проектира предстоящото разширение на Челопеч Майнинг. СМС-С бе избрана да консултира и кореспондира с Minproc в процеса на предпроектното и идейно проектиране. Нашите мнения и препоръки са приети много сериозно и почти всички са заложили в техническите решения. (Технически...)

Дейността на СМС-С, характеризираща се с висок професионализъм, с коректност, точност и отговорност е оценена в многобройните референции от Български и чуждестранни фирми, за които или с които сме работили.



Фиг. 10. Елементи от електрообзавеждането и КИП и А в Нова пречиствателна станция, "CUMERIO"

- А) Управление с пускател, терминатор на Profibus DP и резервно захранване;
- Б) Кабелни скари
- В) Табло с честотно управление на помпа.
Комуникация с контролер чрез Profibus DP;
- Г) Помпи, управлявани по система DOL.

Литература

Чобанов, Ст. Реконструкция на КРУ-СрН – инвестиция с много добър ефект и възвращаемост, сп. Минно дело и геология, № 2, С., 2005.

Ментешев М., Ст. Чобанов – Иновации в СМС-С електроинженеринг, Научна сесия 50г. МГУ, Годишник МГУ, т. 46, св. III, С., 2003

Стоилов Ив., К. Джустров, М. Ментешев – Оптимизация на релейните защиты в ел. уредби 6kV на Челопеч

Майнинг. Международна научна конференция МГУ, Годишник МГУ, т. 47, св. III, С., 2004

Стоилов Ив., К. Джустров, А. Трапов, М. Ментешев – Микропроцесорна система за контрол и управление на разходите на ел. енергия на привилегирован потребител на НЕК в “Елаците Мед” АД, Енергиен форум, VI, 2004

Технически архив на СМС-С – 1995 – 2005г., гр. Пирдоп.

Препоръчана за публикуване от
Катедра “Електрификация на минното производство”, МЕМФ

ВЛИЯНИЕ ПРИНЦИПА НА ДЕЙСТВИЕ ВЪРХУ БЪРЗОДЕЙСТВИЕТО НА АПАРАТИТЕ ЗА ЗАЩИТА ОТ ТОК НА КЪСО СЪЕДИНЕНИЕ В РУДНИЧНА ЕЛЕКТРОСНАБДИТЕЛНА МРЕЖА

Евтим Руйчов Кърцелин

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

РЕЗЮМЕ. За защита на участъковата електроснабдителна мрежа от токове на късо съединение се използват апарати за максималнотокова защита, встроени в рудничните прекъсвачи и пускатели. В доклада е показано влиянието на принципа на действие върху бързодействието на апаратите за защита от ток на късо съединение.

PRINCIPLE OF WORK OVER FASTWORK OF THE APPARATUSES FOR PROTECTION OF CURRENT IN MINE ELECTRICAL NETWORK EFFECT

Evtim Karcelin

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

ABSTRACT. For protection of the section electrical network from current are used apparatuses for maximal current protection, built into mine switches. Principle of work over fastwork of the apparatuses for protection of current effect is shown in the paper.

Използваните в техниката устройства за защита от токове на късо съединение реагират или на определена стойност на тока или на скоростта на изменение на тока (първа производна на тока по времето).

Защитните устройства, реагиращи на моментната стойност на тока на късо съединение, се явяват устройствата тип ПМЗ, с които се комплектоват рудничните автоматични прекъсвачи тип АВ.

За оценка бързодействието на този вид апарат за защита ще се определи неговото време за сработване при възникване на отдалечено двуфазно късо съединение в руднична електроснабдителна система.

Дължината на кабелната линия (гранична стойност на съпротивлението на кабела) се определя от условието за минимална стойност на напрежението на клемите на електродвигателя при неговото пускане.

Съгласно (ПУЕ) в мрежи за номинално напрежение 660 в ($U_{\min} = 565$ в) стойността на напрежението на изводите на електродвигателя при неговото пускане не трябва да бъде по-ниско от 475 в, което представлява 0,686 U_m (U_m – амплитудна стойност на фазното напрежение при празен ход на силовия трансформатор).

В пусков режим установената стойност на фазното напрежение на клемите на електродвигателя се определя с израза

$$U_{\phi} = \frac{Z_{\text{дв.п}}}{Z_{\phi}} \cdot U_m \sin(\omega t + \psi - \varphi_{\phi} + \varphi_{\text{дв.п}})$$

$$\text{където: } Z_{\text{дв.п}} = \sqrt{R_{\text{дв.п}}^2 + X_{\text{дв.п}}^2}$$

$$Z_{\phi} = \sqrt{(R_{\tau} + R_k + R_{\text{дв.п}})^2 + (X_{\tau} + X_k + X_{\text{дв.п}})^2}$$

$$\varphi_{\text{дв.п}} = \arctg \frac{X_{\text{дв.п}}}{R_{\text{дв.п}}}$$

$$\varphi_{\phi} = \arctg \frac{X_{\tau} + X_k + X_{\text{дв.п}}}{R_{\tau} + R_k + R_{\text{дв.п}}}$$

От този израз се вижда, че стойността на отношението $\frac{Z_{\text{дв.п}}}{Z_{\phi}}$, характеризиращо нивото на напреженията, трябва

да бъде не по-малка от 0,686. При това условие граничната стойност на съпротивлението на кабела е възможно да се определи по формулата

$$Z_k = -n + \sqrt{n^2 + k^2 Z_{\text{дв.п}}^2 - m} \quad (1)$$

където:

$$n = (R_{\tau} + R_{\text{дв.п}}) \cos \varphi_k + (X_{\tau} + X_{\text{дв.п}}) \sin \varphi_k;$$

$$m = (R_T + R_{дв.л})^2 + (X_T + X_{дв.л})^2;$$

$$\varphi_k = \arctg \frac{X_{к.сп}}{R_{к.сп}};$$

$$k = \frac{1}{0,686} = 1,4577.$$

$X_{к.сп}$, $R_{к.сп}$ – съответно индуктивно и активно специфично съпротивление на фаза на кабела, ом/км.

В съответствие с формула (1) граничната стойност на съпротивлението на кабел със сечение на работните жила 50 мм² ($\varphi_k = 10,84^\circ$) е равно на 0,21736 ом, което съответства на 504 м дължина на кабела.

В режим на празен ход на мрежата, когато товарният ток е равен на нула, моментната стойност на тока на двуфазно късо съединение (фази В и С са съединени на късо) се определя с израз

$$i_{к.с.} = I_m [\sin(\omega t + \varphi - 90^\circ - \varphi) - \sin(\psi - 90^\circ - \varphi)e^{pt}],$$

където:

$$I_m = \frac{\sqrt{3}U_m}{Z};$$

$$Z = \sqrt{(R_T + R_k)^2 + (X_T + X_k)^2};$$

$$\varphi = \arctg \frac{X_T + X_k}{R_T + R_k};$$

$$p = -\frac{\omega(R_T + R_k)}{X_T + X_k};$$

90° - ъгъл на изместване между вектора на напрежение-то на фаза А и вектора на линейното напрежение на на-късо съединение фази В и С.

За параметрите на система за електроснабдяване, съдържаща трансформаторна подстанция тип ТСШВП-250 ($U_m = 565$ в, $X_T = 0,0642$ ом, $R_T = 0,0192$ ом), фидерен кабел със сечение на жилата 50 мм² ($X_k = 0,081$ ом/км, $R_k = 0,423$ ом/км) и 125 квт ($X_{дв.л} = 0,424$ ом, $R_{дв.л} = 0,214$ ом) в съответствие с израз (2) за тока на двуфазно късо съединение се получава:

$$i_{к.с.} = 1918,8 [\sin(\omega t + \psi - 114,31^\circ) - \sin(\psi - 114,3^\circ)e^{-695,3t}] \quad (3)$$

Амплитудната стойност на големината на тока за настройка, при която сработва защитното устройство ще бъде

$$I_{настр.} = \frac{I_m}{K_u} = \frac{1918,8}{1,5} = 1279,2 \text{ A}$$

където $K_u = 1,5$ – коефициент на чувствителност

Времето за сработване на защитното, реагиращо на моментната стойност тока се определя като пресечна точка между кривата $i_{к.с.} = f(t)$ и правата линия, ординатата на която е равна на амплитудната стойност на тока за сработване на защитното устройство.

Графоаналитичното изследване на зависимостта (3) показва, че максимално възможната стойност на времето за сработване на защитното устройство е 7,9 мс и се получава при $\psi = 193,5^\circ$.

Без да се изменят параметрите на електроснабдителната система се определя и времето за сработване на защитното устройство, реагиращо на скоростта на нарастване на тока (на първата производна на тока по времето).

При двуфазно късо съединение в режим на празен ход на мрежата скоростта на изменение на тока (A/C) се определя по следния израз:

$$\frac{di_{к.с.}}{dt} = \omega I_m [\cos(\omega t + \psi - 90^\circ - \varphi) + \text{ctg} \varphi \cdot \sin(\psi - 90^\circ - \varphi)e^{pt}] \quad (4)$$

За приетите параметри на разглежданата електроснабдителна система в съответствие с изразите (4) се получава

$$\frac{di_{к.с.}}{dt} = 60280,8 [\cos(\omega t + \psi - 114,3^\circ) + 2,2133 \sin(\psi - 114,3^\circ)e^{-695,3t}]$$

По аналогия на определената по-горе настройка за сработване на защитата, настройката за сработване на максималнотокова защита, реагираща на скоростта на нарастване на тока, се получава от отношението:

$$\left[\frac{di_{к.с.}}{dt} \right]_{настр.} = \frac{\omega I_m}{K_u} = 401872.$$

При това максимално възможното време за сработване на защитното устройство е равно на 2,1 мс и се получава при $\psi = 74,06^\circ$.

При $t = 0$ от израз (4) се получава

$$\frac{di_{к.с.}}{dt} = \frac{\sqrt{3}\omega U_m}{2(X_T + X_k)} \sin(\psi - 90^\circ)$$

За $\psi = 90^\circ$ стойността на първата производна на тока по времето е равна на нула, а стойността на втората производна ще бъде различна от нула

$$\frac{d^2 i_{к.с.}}{dt^2} \Big|_{t=0, \psi=90^\circ} = \frac{\sqrt{3}\omega^2 U_m}{2(X_T + X_k)}$$

Получените резултати обосновават възможността за създаването на устройства за бързодействаща защита, осигуряваща безопасно използване на електрическата енергия във взривоопасни производства.

Действително, за условията на рудничната участкова мрежа при $t = 0$ и $\psi = 90^\circ$ за стойността на отношението на втората производна на тока при двуфазно късо съединение към втората производна на тока на пусковия ток се получава,

$$K = \frac{(X_T + X_K + X_{дв.л}) \sin \varphi}{2(X_T + X_K)},$$

което винаги е по-голямо от 1,5. В разглежданата система за електроснабдяване $K = 1,95$, т.е. теоретически е възможно да се използва и втората производна на тока по времето в устройствата за бързодействащите защиты.

Практически втората производна на тока по времето е непрекъсната функция и е възможно да бъде получена само чрез операциите на последователно диференциране. При това като диференциращи устройства се използват R-L или R-C вериги.

Поради своите безпорни предимства електрическата енергия намира широко приложение във всички отрасли на

промишленото производство, включително и в взривоопасните производства във въглищната, нефтената, газовата и химическата промишленост. Заедно с това електрическата енергия се явява и една от причините за възникване на пожари и експлозии в тези производства. Ето защо разработването и внедряването на бързодействащи апарати за защита и на бързодействащи комутационни апарати ще осигурява ефективна защита от къси съединения на електроснабдителната система чрез енергийна изолация на повредения участък.

Литература

- Шишкин Н.Ф., Защита шахтных электроустановок и кабельных сетей. М. Углекиздат, 1959.
- Фролкин В.Г. и др., Промышленные испытания быстродействующего аппарата безконтактной коммутаций АБК-2,5, М., ЦНИЭНУгол, 1971, с. 3.
- Шуцкий В. И и др., Защитное шунтирование однофазных поврежденных электроустановок, М., Энергоатомиздат, 1986.
- Наредба №3 за устройство на електрическите уредби и електропроводните линии.
- Гугяев Б.Ф., Взрывозащита електробезопасность шахтных сетей. Киев, Донецк, В. Школа, 1986.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Електрификация на минното производство", МЕМФ

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ГЛАВНИ ВОДООТЛИВНИ УРЕДБИ НА ПОДЗЕМНИ РУДНИЦИ

Евтим Руйчов Кърцелин¹, Румен Исталиянов¹, Петър Петров², Илия Йочев³, Тодор Каверошилов³, Иван Костадинов⁴

¹Минно-геоложки университет, "Св. Иван Рилски", 1700, гр. София

²Мини "Бобов дол" – ЕАД, гр. Бобов дол

³"Рудметал" – ЕАД, гр. Рудозем

⁴Мина "Черно море"

РЕЗЮМЕ. В доклада е обоснована и предложена методика за експериментално изследване и оценка за ефективното използване на електроенергията за водоотлив на подземни рудници. Този метод ще се използва за изследване на главни водоотливни уредби на подземните рудници в експлоатация.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF MAIN WATERTIDE INSTALLATION OF UNDERGROUND MINES

Evtim Karcelin¹, Rumen Istilianov¹, Petar Petrov², Iliya Iochev³, Todor Kavroshilov³, Ivan Kostadinov⁴

¹University of Mining and Geology, 1700 Sofia, Bulgaria

²"Bobov Dol" Mines – Bobov Dol City

³"Rudmetal" – Rudozem

⁴"Cherno more" Mine

ABSTRACT. Methods of experimental research and evaluation of effective usage of electricity for watertide in underground mines are substantiated and proposed. This method will be used for research of main watertide installations in underground mines that are in operation.

Въведение

Главните водоотливни уредби са един от най-мощните консуматори на електрическа енергия при подземния добив на полезни изкопаеми. Ето защо обосноваването и внедряването на всяко решение, водещо до намаляването на разхода на електроенергия за водоотлив има значителен икономически ефект.

Статистиката показва [6], че електроенергийната система на страната "традиционно" поддържа две явно изразени зони за върхово натоварване. Покриването на електрическите товари през върховите зони на електроенергийната система (ЕЕС) имат изключително висока стойност, която съществено влияе и върху окончателната стойност на електрическата енергия, която се предлага от производителите.

Едно от решенията за изравняване на електрическите товари на ЕЕС е стимулиране чрез цената на електроенергията на електропотребителите за работа извън зоните на върхово натоварване.

Главните водоотливни уредби на подземни рудници, работещи в свободен, цикличен режим се явяват електропотребители, които е възможно да се приведат в

режим на работа, при който да участват при изравняването на електрическите товари на електроенергийната система. За работа в режим на "потребител-регулатор на мощност" [9] е необходимо да бъдат решени редица въпроси, при задължително спазване на нормативните документи [3,4].

Проведеното предварително проучване за състоянието и режима на работа на главни водоотливни уредби на подземни рудници в експлоатация показва, че те работят в режим "до отказ" с технически показатели, сравнително много по-ниски от паспортни и проектни [2].

Следва да се отчете и обстоятелството, че цената на електроенергията в страната и на международния пазар непрекъснато нараства.

Разработването на методика за изследване на главни водоотливни уредби при експлоатационни условия, определяне на техническото им състояние и режима на работа въз основа на получените резултати, определяне на условията, разработване и внедряване на апаратура за управление на главни водоотливни уредби в режим на работа "потребител-регулатор на мощност" определят актуалността на задачата за провеждане на експериментално изследване на ГВУ в експлоатация.

В доклада е обоснована методика за експериментално изследване и оценка за ефективното използване на електроенергията за водоотлив на подземни рудници. Приведени са техническите характеристики на представителни ГВУ, които ще бъдат обект на експериментални изследвания.

Основни характеристики на главни водоотливни уредби

Като основни средства за главен рудничен водоотлив на подземни рудници се използват центробежни многостепенни секционни помпи. На практика са намерили приложение нискооборотни помпи с честота на въртене 25 с⁻¹ (1500 об/мин) и високооборотни помпи с честота на въртене 50 с⁻¹ (3000 об/мин).

Основни експлоатационни параметри на рудничните центробежни помпи са:

H - напор, (m)

Q - производителност, (m³/h, m³/s)

η - коефициент на полезно действие,

N - консумирана мощност, (kW)

H_{всм} - вакуумметрична височина на всмукване, (m)

Функционалните зависимости, получени по експериментален път изразяващи зависимостта между напора, к.п.д., мощността на вала, допустимата вакуумметрична височина на всмукване (допустим кавитационен запас) от производителността H=f(Q), η=f(Q), N=f(Q), H_{всм}=f(Q), K_{доп}=f(Q) се се представят графически или аналитично и е прието да се наричат характеристики на помпите. Съществуват типови (паспортни) и действителни характеристики. Типовата характеристика - това е усреднена характеристика получена в резултат на стендови заводски изпитания на няколко помпи. Действителна характеристика на дадена помпа - това е индивидуална характеристика на дадена помпа, получена в резултат на изпитването на конкретна помпена уредба.

Работен режим на помпата - това са експлоатационните параметри на помпата (Q, H, H_{всм}, N, η_н) в момента на експерименталната проверка на помпата, включен за работа в напорен тръбопровод.

Оптимален режим на работа на помпата - това е режима на работа с максимален к.п.д.

Специфични електрически загуби на помпата - това е разхода на електроенергия за препомпване на 1 m³ вода, зависещи от работния режим и к.п.д. на помпата.

Специфичен разход на енергия на водоотливна уредба - това е разхода на електроенергия, изразходвана за подем на 1 m³ вода на височина 1 m.

Специфични загуби на електроенергия в помпата:

$$e_{снец} = 27233.10^{-3} \cdot \frac{H}{\eta_{ном}} \text{, (kWh/m}^3\text{)} \quad (1)$$

Специфичен разход на електроенергия на водоотливната уредба:

$$E_{снец} = \frac{27233.10^{-3} \cdot H}{\eta_{ур}} \text{, (kWh/m}^3\text{)} \quad (2)$$

Методика на изследване

Един от методите за оценка ефективното използване на електроенергията в главните водоотливни уредби е свързан с определянето на средната стойност на к.п.д. на уредбата за едно денонощие. Този к.п.д. се определя като отношение на полезната енергия, необходима за изпомпване на денонощния водоприток към фактически изразходваната електроенергия за едно денонощие и се определя от израза:

$$\eta_s = \frac{\rho_d H_z Q_{ден}}{1000.3600 \cdot E_{ден}} \quad (3)$$

където:

ρ - плътност на рудничната вода, kg/ m³;

H_z - геометрична височина на изпомпване на водата, m

Q_{ден} - денонощен приток на руднична вода, m³;

E_{ден} - фактически разход на електроенергия за денонощие, kWh.

Коефициент на полезно действие на помпа при работен режим се определя по следният израз:

$$\eta_{ном} = 2725.10^{-3} \cdot \frac{Q \cdot H}{\eta_{ос} \cdot N} \quad (4)$$

където:

η_{дв} - к.п.д. на електродвигателя задвижващ помпата;

Q - производителност на помпата в работен режим, (m³/h);

H - напор на помпата в работен режим, (m);

N - мощност на електродвигателя, (kW);

2,727.10⁻³ - коефициент зависещ от размерността на влизащите в използваната формула величини, ().

За определяне стойностите на Q_{ден} и E_{ден} е необходимо да се изпълнят специални измервания. От известните методи за измерване на денонощния водоприток най-надежден се явява метода основан на измерване на количеството вода, което се изпомпва с помпите. При това е необходимо след изпомпване на водата от водосборника до определено ниво да се спрат помпите и да се засече времето за запълване t_з на водосборника с вода до зададено ниво. След това се включват помпите, които работят до този момент, докато водата във водосборника не спадне до първоначално зададеното ниво. Такива замери се изпълняват най-малко от 3 до 5 пъти и получените резултати за Q_{ден} и E_{ден} се усредняват. Знаейки

производителността на помпите $Q_{пом}$ и времето за тяхната работа $t_{пом}$ се определя количеството на изпомпаната вода. Производителността на помпите при тези опити трябва да се проверява по един от възможните методи, представени в Димов Д., 84-85.

Денонощният водоприток се определя с израза:

$$Q_{ден} = 24Q_{час} = \frac{24t_{ном}Q_{ном}}{t_{ном} + t_3} \quad (5)$$

Фактичската консумация на електроенергия се определя по показанията на електромерите, или чрез изчисляване по формулата

$$E_{ден} = \frac{N_{дв}t_i}{\eta_{мрж.}} \quad (6)$$

По изчислителният метод денонощния разход на електроенергия се определя по формулата

$$E_{ден} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{дв}t_i}{\eta_{мр}} \quad (7)$$

където:

n – брой на помпените агрегати, които са участвали в изпомпването на денонощния водоприток;

$N_{дв.i.}$ – мощност, която е подавана към отделните електродвигатели (измервана с ватметри или изчислена по показанията на амперметър и волтметър с отчитане на фактора на мощност на електрозадвижването), kW.

Мощността $N_{дв.i.}$ се определя по израза:

$$N_{дв} = \frac{1.73U_i I_i \cos \varphi_i}{1000} \quad (8)$$

където:

U_i – линейно напрежение на захранващата мрежа, V;

I_i – ток на захранващата мрежа, A;

$\cos \varphi_i$ – фактор на мощността на i -тия електродвигател;

t_i – време за работа на i -тия електродвигател, час;

$\eta_{ден}$ – средноденонощен к.п.д. на електрическата мрежа;

к.п.д. - $\eta_{мр.}$ се определя по следния израз

$$\eta_{ден} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{дв}t_i}{\sum_{i=1}^n N_{дв}t_i + \Delta E_n} \quad (9)$$

където:

$\Delta E_{мр.}$ – загуба на електроенергия в захранващата електромережа, kWh.

След заместване на получените данни в равенство (1) при необходимост се анализира числената стойност на средноденонощния к.п.д. на водоотливната уредба, което е възможно да се представи като произведение на средноденонощния к.п.д. на мрежата $\eta_{мр.}$, на задвижващите електродвигатели $\eta_{дв.}$, на помпените агрегати $\eta_{помп.}$ и на тръбопровода $\eta_{тр.}$ за водоотливната уредба, т.е.

$$\eta_{вс} = \eta_{мр} \eta_{дв} \eta_{помп} \eta_{тр} \quad (10)$$

За асинхронните електродвигатели, използвани за задвижване на помпи във водоотливни уредби при правилното им избиране, по товар средноденонощния к.п.д. на електрозадвижването с достатъчна точност е възможно да се приеме равен на номиналната му стойност.

Отчитайки, че к.п.д. на тръбопровода при работа на i -та помпа с напор H_i се определя по зависимостта $\eta_{тр.i.} = H_0/H_i$, средноденонощния к.п.д. ще се определя по формулата:

$$\eta_{мр} = \frac{H_c}{\sum_{i=1}^n \frac{t_i}{H_i}} \quad (11)$$

Използвайки к.п.д., получен по формула (7), средноденонощния к.п.д. на агрегата ще се определя по следния израз:

$$\eta_{пом} = \frac{\eta_{вс}}{\eta_{мр} \cdot \eta_{дв} \cdot \eta_{тр}} \quad (12)$$

На основата на получените стойности за к.п.д. на всички помпени агрегати и елементи на водоотливната уредба е възможно да се разработи конкретна програма с технически решения за повишаване на ефективното използване на консумираната електроенергия от водоотливната уредба посредством ремонт или замяна на агрегати и елементи, имащи най-нисък к.п.д.

Технически характеристики на представителни главни водоотливни уредби на подземни рудници за изследване

В таблица 1 са дадени основните технически характеристики на представителни главни водоотливни уредби на подземни рудници за изследване. Технологичните схеми на уредбите са дадени в Исталиянов Р. и др., 2003.

Таблица 1

№	Обект, технически параметри	марка	обект		
			Р-к "Бобов дол"	Р-к "Черно море"	Р-к "Метлишко"
1.	Напор	m	400	320/250	600
2.	Производителност на една помпа	m ³ /h			490
3.	Мощност на електродвигателя задвижаващ помпата	kW	315	630/315	800
Заб.: за рудник "Черно море" в числителя са показани данните за второто стъпало, а в знаменателя данните на първото стъпало.					

При изпълнение на експерименталното изследване на посочените в таблица 1 водоотливни уредби ще се използват и методическите указания, дадени в (Димов Д., 84-85; Попов, 1972; Руководство по... 1988).

Изводи

В практиката се е наложила традицията, при която водоотливните комплекси на подземните рудници се експлоатират без контролиращи и диагностиращи прибори, в резултат, на което настъпва недопустимо износване на скъпо струващо обзавеждане.

Предложената методика за експериментално изследване и оценка на ефективното използване на електроенергията за водоотлив на подземни рудници в експлоатация е

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Електрификация на минното производство", МЕМФ

възможно да бъде използвана за провеждане на техническа диагностика и рационална организация за работа на главните водоотливни уредби. Това ще позволява да се контролира и своевременно да се отстраняват неизправностите, възникващи при експлоатацията на водоотливните уредби, съхранявайки скъпо струващо обзавеждане и изключване на недопустим преразход на електроенергия.

Литература

- Димов Д., Учебна уредба за изпитване на центробежна помпа., год. на ВМГИ, София, т. XXXI, св. I, 1984-1985.
- Исталиянов Р. и др., Енергиен контрол за ефективна работа на главни водоотливни уредби за подземни рудници, год. На МГУ "Св.Иван Рилски", т. 46, св. III, 2003.
- Правилник по безопасност на труда при разработване на рудни и нерудни находища по подземен начин (В-01-01-01), т. 1 и 2, София, 1992.
- Правилник по безопасност на труда в подземни въглищни рудници (В-01-01-01), т. 1 и 2, София, 1992.
- Попов В.М., Рудничные водоотливные установки, М., Недра, 1972.
- Георгиев А., Статистически данни за електропотреблението в България през 2003 година, Энергетика, 4/2004.
- Руководство по ревизии и наладке главных водоотливных установок шахт, ВНИИГМ, Донецк, 1988.
- Решение № Ц-002 от 29.03.2002 г. на Държавната комисия за енергийно регулиране (за върховите зони за потребителите с цени на електрическа енергия)
- Праховник А.В. и др., Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий, М., Недра, 1985.

ТУНЕЛНА ОСВЕТИТЕЛНА УРЕДБА В ГРАД "ПЛОВДИВ" С ПЛАВНО РЕГУЛИРАНЕ НА ЯРКОСТТА НА ВХОДНАТА ЗОНА

Красимир Велинов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, krasiv@satline.net

РЕЗЮМЕ. В доклада е описана реконструкцията на транспортен тунел намиращ се в град Пловдив под централния площад и пощата. Тунелът е част от важна транспортна артерия в центъра на града с голяма интензивност на движението. Проектирането е извършено на базата на новия европейски стандарт за тунелни осветителни уредби.

LIGHTING DESIGN OF TUNNEL ON THE CITY "PLOVDIV" WITH PROPORTIONAL CONTROL

Krasimir Velinov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, krasiv@satline.net

ABSTRACT. The paper presents the results of an implemented project of the lighting and controlling systems for the tunnel, situated on the city "Plovdiv". The design is based on the last European standards and requirements for tunnel lighting, as well on the contemporary technical and technological decisions.

1. Въведение

Осветителната уредба на пътен тунел е сложно съоръжение. При проектирането на такава уредба трябва да се съобразяват много и сложни изисквания. В доклада е описана реконструкцията на транспортен тунел намиращ се в град Пловдив под централния площад и пощата. Тунелът е част от важна транспортна артерия в центъра на града с голяма интензивност на движението. Първоначално осветителната уредба на тунела е изградена с аксиални улични осветители без ясно оформена входна зона. Поради несъответствие на осветителната уредба със нормативните изисквания (БДС 16103-83; Норми за..., 1988; CEN CR 14380:2003; CIE..., 1990) беше извършена реконструкция на тунела.

2. Описание на обекта

Тунелът е с една тръба с две ленти за всяка посока на движение, всяка със ширина 4.2 m. Максималната височина е 4,8 m. Тунелът е в завой с дължина по оста на северното платно 245 m и 283 m – за южното платно. От входа не се вижда изхода. Стените на тунела са изградени от вертикални бетонни панели с ширина 1.3 m. Таванът е от положени напречно на посоката на движение 2Т-панели. Настилка на пътя е асфалтова, която съобразно своите светлотехнически характеристики се отнася към клас R3 с $q_0 = 0,07 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$. Максималната допустима скорост на движение на моторните превозни средства е 60 km/h. Интензивността на движение е от 100 до 1000 мпс/h. Липсва разделителна ивица.

3. Осветителна уредба на тунела

3.1. Проучване на светлинния климат пред входа на тунела

Тунелът е изграден в посока изток – запад. В летен слънчев ден бяха измерени следните яркости пред входа на тунела показани на фигура 1 и фигура 2.

Обработката на данните показва, че максималната средна яркост пред двата входа на тунела е приблизително еднаква и няма да надхвърли 4000 cd/m^2 .

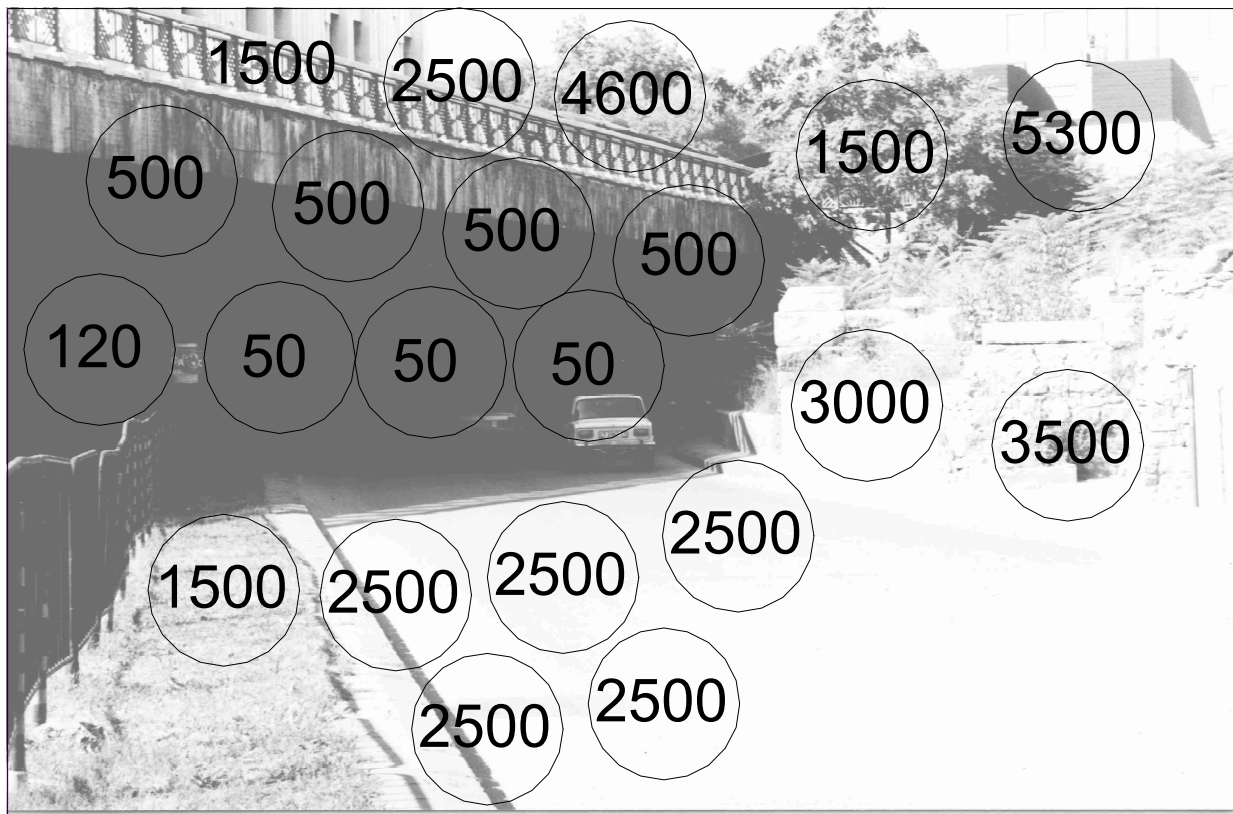
3.2. Определяне на входната яркост

Съгласно действащия у нас стандарт за тунелно осветление и prEN/CEN/TC169/WG6, за входните зони на тунела следва да се реализира яркост - $L_{vx} = 120 \text{ cd/m}^2$ за двата входа.

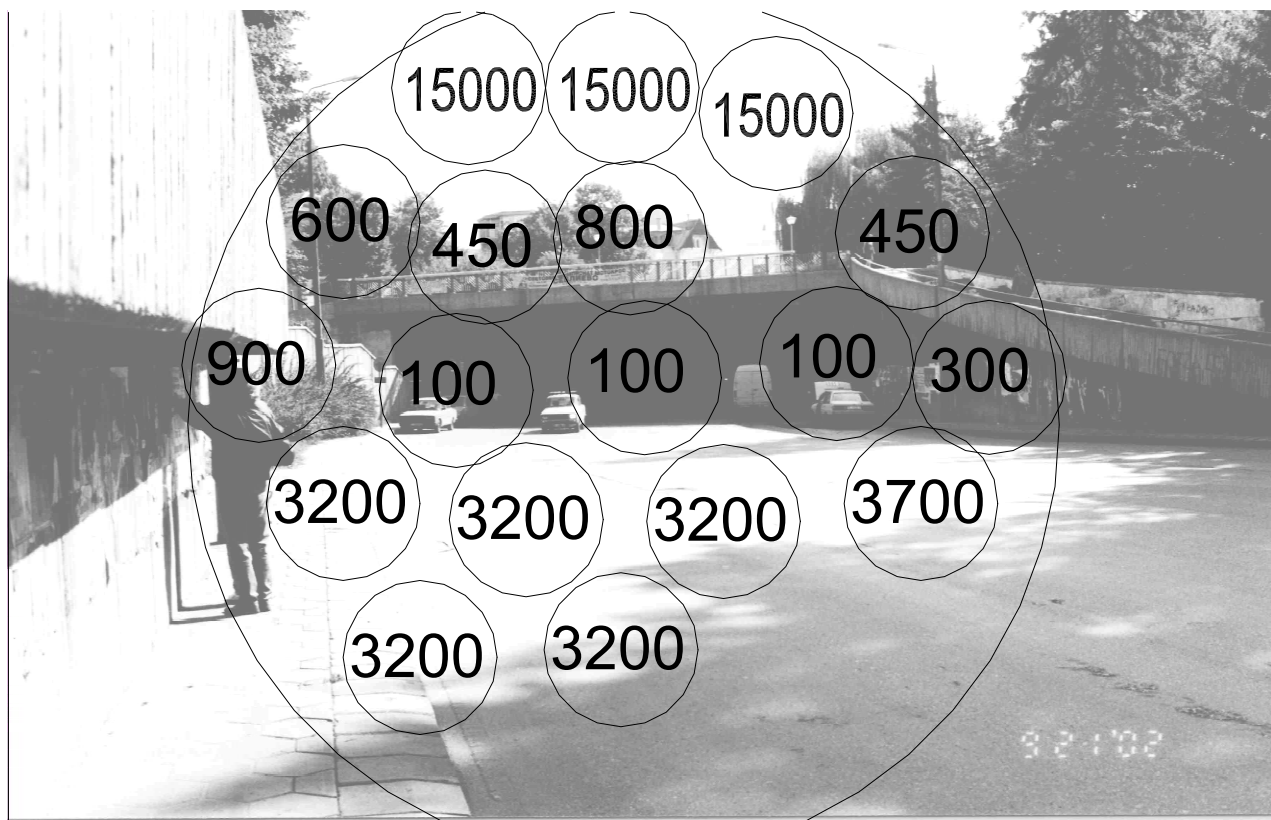
Във вътрешната зона на тунела трябва да се реализира средна яркост на пътното платно $L_{vx.3} = 4 \text{ cd/m}^2$. В нощен режим, чрез превключване на двоен дросел в осветителите, средната яркост на пътното се намалява до 2 cd/m^2 .

3.3. Избор на светлотехническо решение

За осветлението се използва насрещна система на осветление, която е значително по-икономична. Използвани са корозионно-устойчиви осветители, изработени от екструдирани алуминий със степен на защита IP-65.

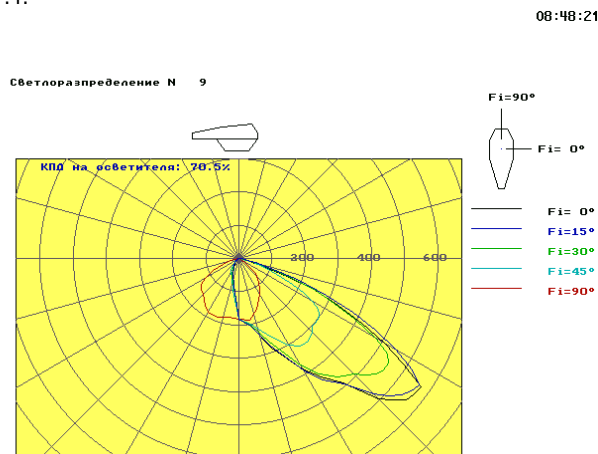


Фиг.1. Тунел под пощата - източен вход. Измерена яркост пред входа на тунела.

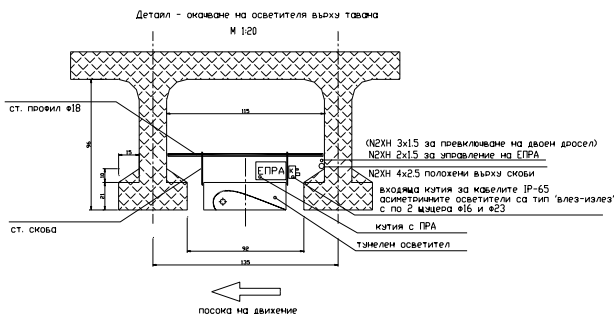


Фиг.2. Тунел под пощата - западен вход. Измерена яркост пред входа на тунела.

Примерно светлоразпределение на осветителя е показано на фиг.3. Като светлинни източници се използват НЛВН 150, 250 и 400 W.SON T+ 3а входната и преходната зона на тунела осветителите са с асиметрично - насрещно на посоката на движението излъчване, а за вътрешно тунелната зона, както и нощното и полунощното осветление излъчването на осветителите е симетрично. Осветителите са разположени в кухините между 2Т-панелите, като предпазното стъкло е на височина 4.8 м, т.е на височината, на която е долният край на бетонните греди на тавана. Детайл за окачване на осветителите е показан фиг.4.



фиг.3. Светлоразпределение на осветителите във входната зона



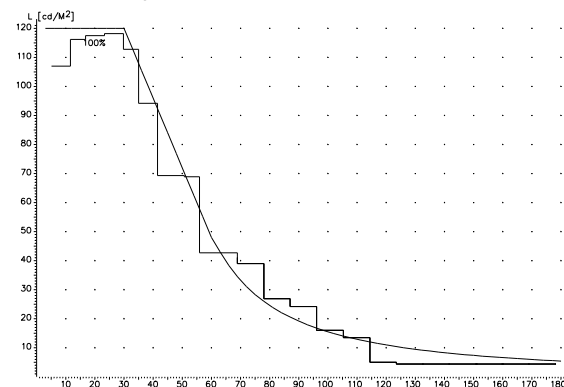
фиг.4. Схема на закрепване на осветителите

Осветлението на входните зони на тунела се осъществява с 42 броя осветители с асиметрично излъчване за всяка от посоките на движение и общо 57 броя осветители със симетрично излъчване – за основното осветление на тунела. Общият брой на осветителите е 141. За осветление на спирката до западния изход на тунела са предвидени 6 броя осветители (прожектори) със 150 W метал-халогенни лампи и степен на защита IP-54. Общата инсталирана мощност е 44,8 kW.

3.4. Избор на схема на включване на осветителите

За осветление на адаптацията и преходната зони на двата входа на тунела се използват осветители на фирма ДЕНИМА-2001 ООД с електронна пусково-регулираща апаратура (ЕПРА) с плавно регулиране на интензитета на светене на лампите от 20 до 100%. Във входната и

преходната зона захранването на осветителите е секционирани на три трифазни токови кръга. Сигналът за управление на осветлението постъпва по точностотен кабел 2x0.75mm² от контролер, монтиран в табло управление. Реализираните яркости за входната и преходната зона за максималната степен на включване, в зависимост от разстоянието от входа на тунела е показана на фиг.5.



фиг.5. Разпределение на яркостта във входната и преходната зона на тунела.

За разлика от осветителните уредби в аналогични тунели [5, 6], в настоящата уредба се използват осветители с плавно регулиране на светлинния поток. При промяна на управляващия сигнал, съответно яркостта се променя от 100 до 20% от нея.

За нощното и полунощно осветление на тунела се използват осветители със симетрично излъчване и 150W НЛВН с конвенционална пусково-регулираща апаратура с двоен дросел. Осветителите са разположени по оста на платното за движение, за да се осъществява оптично водене. Превключването между нощен и полунощен режим се осъществява чрез превключване на двойния дросел, с което се реализират яркости на пътното платно съответно 4 и 2 cd/m². Сигналът за превключването на дроселите се подава от контролера и минава през контактор в табло осветление. Същият сигнал се подава по захранващия кабел 6x4 mm², като шести проводник. Монофазните отклонения се осъществяват с кабел 4x2.5 mm² като четвъртия проводник е управляващ.

Светлотехническите изчисления са извършени с програмата EPTUN 2.1 (Програмен продукт за... 1995).

4. Управление на осветлението

Преминаването на водача на МПС през тунела е свързано с голямо натоварване на зрителния анализатор. Натоварването е свързано с бързата преадаптация на око от високата яркост пред входа на тунела до яркостта на вътрешно-тунелната зона. Най-тежкият случай е при ясен слънчев ден през зимата и наличие на снежна покривка. За да се извърши зрителната адаптация, на входа на тунела осветителната уредба е реализирана входна и преходна зона. Разположението на осветителите е такова, че да се реализира промяна на яркостта на пътното платно по определен закон.

Максималната степен се включва, когато пред входа на тунела е най-светло. Тя е изчислена да реализира максимално 120 cd/m². Когато външната яркост не е така голяма (при облачно време и смрачаване), с помощта на регулируемото ЕПРА се намалява интензитета на светене на лампите пропорционално на входния сигнал. Коефициента на пропорционалност се задава таблично. Тъй-като половината от мощността за осветление е съсредоточена във входната и преходната зона, наличието на управление на осветлението би довело до големи икономии на електроенергия.

За настоящият тунел управлението на осветлението се осъществява с микропроцесорен контролер, разположен в табло управление. Входния сигнал за измерената яркост в зоната на приближаване се получава от два яркомера монтирани на спирачното разстояние пред входовете на тунела. От източната страна яркомера се монтира с помощта на метална скоба на височина 3м от тротоара (около 4.5м от пътното платно). От западния вход страна яркомера се монтира с помощта на метална скоба на височина 4.5м на бетонна колона под моста.

Съгласно документът на CIE № 88/1990 яркомерите се монтират в зоната на приближаване, на разстояние пред входа на тунела, равно на спирачния път, на стълб с височина 4.5 - 5.0 m. Яркомерът е с ъглово поле на измерване на яркостта - 20°, с оптическа ос, насочена към средата на входа на тунела. В качеството на приемник се използва силициев фотоелемент със спектрална чувствителност близка до тази на човешкото око и интегрираща сфера, осредняваща яркостта в наблюдаваното ъглово поле.

Корпусът на яркомера е обработен с високоустойчиви на атмосферни влияния антикорозионни средства. Допълнителен екран-сенник от неръждаема стомана защитава яркомера от пряко попадане на слънчева светлина и на светлина от изкуствен източник, както и предпазва допълнително от атмосферни влияния (дъжд, сняг, птици и др.). Във вътрешния обем на яркомера с помощта на терморегулатор се поддържа постоянна работна температура, осигуряваща оптимален и постоянен режим на работа на електронните елементи и предпазване от обледеняване и изпотяване на стъклото. Калибрирането на яркомера се извършва в лабораторни условия и на мястото на монтиране.

От яркомера излиза унифициран токов сигнал 4 - 20 mA с ширмован тончестотен кабел. Този сигнал се филтрира и обработва по цифров път в съответствие със заложения алгоритъм за управление на осветлението на тунела от контролера. Захранването на яркомера се осъществява с отделен кабел СВТ 3х1.5 от ТО-1 до клемната кутия на яркомера. Монтажът на яркомера върху стълба се осъществява с конзола, позволяваща насочването му във

вертикалната и хоризонталната равнина. Допълнително е монтиран заземител $R < 10 \text{ ома}$.

Контролерът е реализиран на микропроцесорна основа с използване на съвременна елементна база, гарантираща високи експлоатационни характеристики и надеждност.

Управлението на осветлението от системата яркомер-контролер се осъществява като се отчитат и такива фактори като: време необходимо за разгаряне на лампите, времезадръжка при два последователни прехода от една степен в друга, времезадръжка при кратковременни изменения на адаптационната яркост, следене хода на изменение на яркостта - нарастване или намаляване и други.

Технически характеристики на яркомерите:

- диапазон на измерване - 0 ÷ 3500 (6500, 10000) cd/m²;
- приемник - силициев фотодиод, $V(\lambda)$ корекция;
- ъглово поле на измерване - 20°;
- точност - $\pm 3 \%$;
- унифициран токов изход - 4 ÷ 20 mA;
- захранване - 220 V;
- температурен диапазон на работа - - 30°C до + 40°C;
- максимално външно съпротивление в токовия кръг ($R_{\text{линия}} + R_{\text{товар}}$) - 600 Ома;
- темпериране - 18 W с терморегулатор;
- окачване - с болт М10, с 2 ст. на свобода.

Автоматизираната система се състои от следните функционални блокове:

- два броя яркомери с 20° ъглово поле на наблюдение;
- информационно – управляващо табло, с възможност за визуализация на работещите степени от уредбата и работа в автоматичен и ръчен режим;
- полевы входно-изходни модули – логически контролери.

5. Резултати и препоръки

Описаната реконструкция на тунелна осветителна уредба беше извършена в началото на 2004 година. Измерените количествени и качествени показатели съответстват на изчислените. Използването на осветители с електронна пусково-регулираща апаратура и плавно управление на светлинния поток е първи опит в прилагането на такъв тип регулиране на яркостта на входната зона. За първи път се въвежда и допълнителен режим на намаляване на яркостта във вътрешно-тунелната зона в слабо натоварените нощни часове. Всички тези мерки довеждат до намаляване на консумацията на електроенергия. На фиг. 6. е показана реализираната осветителна уредба



фиг.6. Снимка на реализираната уредба

Литература

БДС 16103-83. Осветление на тунели. Технически изисквания;
 Норми за проектиране на пътни и железопътни тунели 1988;
 CEN CR 14380:2003 "Lighting application – Tunnel lighting".
 CIE. Technical Report, Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses. Publication № 88, 1990.

Велинов К., Х. Христов, Н. Лазарова. Енергоефективна осветителна уредба. "Енергетика", София, 1/2000.

Христов Х., К. Велинов, М. Шаферски. Нови осветителни уредби с автоматично управление в пътните тунели "Железница" и "Кресна" от международен път Е97. "Пътища", София, 1/2002.

EPTUN 2.1 – Програмен продукт за проектиране на тунелни осветителни уредби. Техническо описание. СД "ЕЛЕКТРОПРОГРАМА", София 1995 г.

Препоръчана за публикуване от
 Катедра "Електрификация на минното производство", МЕМФ

СЪВРЕМЕННИ ЕЛЕКТРОИЗОЛАЦИОННИ МАТЕРИАЛИ И ТЕХНОЛОГИИ, ИЗПОЛЗВАНИ ПРИ РЕМОНТ НА ВИСОКОВОЛТОВИ ДВИГАТЕЛИ

Константин Тричков¹, Константин Костов²

^{1,2}Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. Направен е анализ на нови "богати на смола" изолационни материали, производство на фирмата ISOVOLTA - Австрия използвани при производство и ремонт на високоволтови двигатели. Разработена е технология за изработване на главна изолация при ремонта на асинхронни двигатели 6 kV в условията на "РЕМОТЕКС - РАДНЕВО" ЕАД. Полупромишлените изпитания на изработените образци са проведени във високоволтовата изпитвателна лаборатория на Завод за електрически машини ЕЛПРОМ-ЗЕМ, гр. София.

CONTEMPORARY INSULATING MATERIALS AND TECHNOLOGIES USED TO REPAIR HIGH-VOLTAGE MOTORS

Konstantin Trichkov¹, Konstantin Kostov²

^{1,2}University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, Bulgaria

ABSTRACT. The present paper considers the analysis of modern resinous insulating materials made by ISOVOLTA, Austria and used in the production and repair of high-voltage motors. A technology was developed to produce the main insulation in the repair of 6kV induction motors performed by Remotex-Radnevo. The semi-industrial tests of the samples were conducted in the high-voltage testing laboratory of ELPROM-ZEM, Sofia.

Качеството на ремонта на електрическите машини в много голяма степен се определя от качеството на ел. изолацията. Производителите на ел.изолационни материали непрекъснато разработват нови по-качествени материали с по-високо пробивно напрежение, по-висок топлинен клас, за да могат да изпълняват изискванията на производителите на електрически машини.

В мини „Марица-изток“ АД, гр. Раднево в експлоатация се намират няколко хиляди електрически машини от над 400 типа. Мощностите на ел.машини също са с твърде широк диапазон от няколко десетки вата до 1000 kW. В таблица 1 са дадени количеството асинхронни двигатели В.Н. отремонтирани за периода от 1996 г. до 2002 г.

Таблица 1.

Година	до 280 kW	над 280 kW	над 550 kW	над 560 kW	Общо
1996 г.	2	25	10	6	43
1997 г.	0	25	18	11	54
1998 г.	3	25	32	7	67
1999 г.	7	15	31	13	66
2000 г.	3	15	35	13	66
2001 г.	0	23	16	5	44
2002 г.	7	23	35	15	80
Общо:	22	151	177	70	420

Електрическите машини в мини „Марица-изток“ АД работят при това в много тежки условия. режимът на работа е непрекъснат, машините работят в силно запрашена среда. Поради особения характер на

рудничната конфигурация, температурите през лятото надминават 40°C, а през зимата влажността е твърде висока. Пред вид мобилността на задвижваните съоръжения, електрическите машини работят в условия на повишени вибрации. В захранващата мрежа на рудниците съществуват твърде високи пренапрежения. В някои случаи електрическите машини се претоварват за определени периоди от време. Всичко това води до повишената аварийност на оборудването, а в частност - на електрическите машини. (Отчет по..., 74-76)

Голямото разнообразие на електрическите машини и тежките условия на експлоатация водят до определени затруднения при ремонта им в "РЕМОТЕКС-РАДНЕВО" ЕАД, гр. Раднево. Използуваната в момента изолационна система на базата на Микафолый МХШ е недостатъчно надеждна при такива натоварвания. Ниската пробивна якост е причина за една част от пробивите. Проблеми създава и високата влажност в рудниците съчетана с високата хигроскопичност на Микафолый МХШ. Наличието на периодични претоварвания и високите температури на работа водят до превишаване на допустимите за тази изолация температури.

Доставените в последните години и пуснати в експлоатация електрически машини са почти всички с топлинен клас F (155°C). Такива електрически машини, отремонтирани в "РЕМОТЕКС-РАДНЕВО" ЕАД със съществуващата технология стават вече с топлинен клас В (130°C) и понеже са рационално конструирани, превишаването на работната им температура е често пъти фатално.

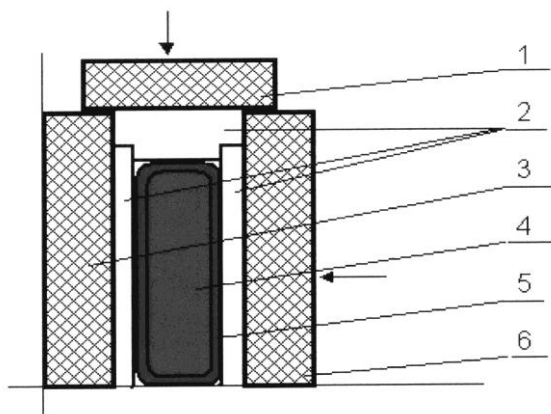
Всичко изложено до тук показва, че използването на изолационна система на основата на Микафол МХШ при ремонта на електрическите машини в "РЕМОТЕКС-РАДНЕВО" ЕАД не отговаря на изискването за висока надеждност при много тежки условия на работа. Необходимо е внедряване на нова изолационна система, отстраняваща горепосочените недостатъци.

В настоящата статия се анализират качествата на съвременните електроизолационни материали с цел разработване на технология на нова изолационна система, приложена при ремонта на асинхронни двигатели В.Н. в „РЕМОТЕКС-РАДНЕВО“ ЕАД. (Каталожни)

В световната практика при производството на ремонта на високоволтови двигатели се използват две основни системи (Тодорова, Дюстабанов, 2003):

- RESIN RICH – (богата на смола) изолационна система;
- VPI – (вакуумиране и пресоване) изолационна система.

RESIN RICH системата е най-широко разпространена за производство и ремонт на секции на двигатели В.Н. Използваният електроизолационен материал съдържа относително висок процент (около 40%) термореактивна смола, който се подлага едновременно на пресоване и изпичане в специални преси. Не се налага допълнително импрегниране със смола (фиг. 1).



Фиг. 1. Принципна схема на преса за Resin Rich

1. Подвижна притискаща плоскост; 2. Метални клинове; 3. Неподвижна нагревателна плоскост; 4. Секция за пресоване и изпичане; 5. Изолация; 6. Подвижна притискаща и нагревателна плоскост.

Основни предимства на RESIN RICH изолационна система са следните:

- Топлинен клас на изолацията - клас F;
- Висока пробивната якост на изолацията - над 50 kV/mm;
- Ниска хигроскопичност на системата - практически отсъства;
- Малки диелектричните загуби - нисък $\text{tg}\delta (< 0,01)$;
- Ниска себестойност на ремонтите;
- Не много сложен технологичен процес и оборудване, но сравнително скъпо оборудване за условията в България;
- Изолация на основа слюда за висока устойчивост на частични разряди

- Основно предимство е ремонтнопригодността, т.е. всяка една повредена секция може да бъде демонтирана от статора и на нейно място може да бъде поставена нова, с минимална себестойност на ремонта.

В табличен вид (табл. 2) са дадени възможностите за избор на съвременни изолационни материали според специфичните изисквания, приложими за RESIN RICH системата.

VPI системата използва сухи ($4 \div 8\%$ слепващо вещество) изолационни материали. При тази система секциите или целия статор се вкарват в автоклав, подлагат се на вакуумиране, импрегниране чрез заливане със смола под налягане и последващо изпичане в пещ.

При изработване на секциите, за изолация на единичните проводници препоръчваме CONDUCTOFOL 0264 с дебелина 0,09 mm. Представява гъвкава суха лента състояща се от слюденитова хартия на основата на калциниран мусковит, импрегнирана с епоксидна смола и PET-филм. PET-филмът е допълнително покрит със специално топящо се лепило и по тази причина проводниците могат да бъдат слепвани заедно чрез кратък натиск при температура 160°C. CONDUCTOFOL 0264 е лентов материал и се нанася ръчно или машинно с $\frac{1}{2}$ припокриване.

За слепване на проводниците и оформяне на геометрията на правата част от секцията, препоръчваме използването на термосвиваем разделителен филм VOTAFILM 2645. За основна изолация препоръчваме материала POROFOL 0546, под формата на ленти. Той се състои от високо абсорбираща слюденитова хартия на основа некалциран мусковит, PET-филм като носител и PET-мат от страна на слюденитовата хартия. Като свързващо вещество е използвана епоксидна смола без втвърдител. Лентата е гъвкава, мека и много пореста и позволява навлизането на импрегнационна смола през голям брой слоеве. Изолираните по този начин секции се монтират в статора и се укрепват.

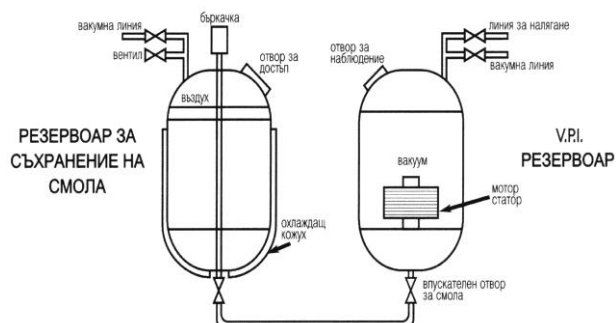
При полагане на намотката в статорния пакет, за канална и междуслойна изолация препоръчваме стъклотекстолит с температурен клас H (180°C) ISOVAL® TM. Последният се състои от стъклотъкан импрегнирана с епоксидна система. Притежава отлична термична и химична устойчивост, както и висока механична якост при повишена температура.

За укрепване на челните части в статорния пакет препоръчваме PROMAT ME 2242, състоящ се от стъкло-мат и много малко количество епоксидна смола. PROMAT ME 2242 при импрегниране със смола увеличава обема си до 200% и по този начин уплътнява много добре „празните пространства“.

На фиг. 2 е показана технологичната схема на VPI инсталация. Трябва да се отбележи, че качествата на VPI системата, освен от използваните електроизолационни материали, до голяма степен се определят от качествата на импрегнационната смола и правилното протичане на процеса.

Таблица 2.

Приложение	Материал/ алтернатива Тип	Дименсия Дебелина x ширина (mm)	6,6 kV	10,5 kV	15 kV	Забележки
			Брой слоеве/дебелина на изолацията mm (след пресоване)			
Единична проводникова изолация	CONDUCTOFOL 2009	0,09x12 mm (0,06 mm пресовано)	3 x но застъпено на зиг-заг 30%	2 x 50% застъпено	2 x 50% застъпено	С лепило за преконсолидация
	CONDUCTOFOL 0264	0,09x12 mm (0.06 mm пресовано)				
	CONDUCTOFOL 2159	0,10x12 mm (0,07 mm пресовано)				
Преконсолидация (ако се изисква)	VOTAFIXE2102	0,15x25 mm	1 x но застъпено			Когато се използва Conductofol 2009
Основна изолация	CALMICAGLAS 0409(2005) (2005 с разделителен филм)	0,18x1000 mm 0,18x20(25)mm	12 слоя 6x50% =1,6mm	18 слоя 9x50% =2,4mm	26 слоя 13x50% =3,5mm	В-състояние, твърда основна изолация
	CALMICAGLAS 0409(2005) (2005 с разделителен филм)	0,21x1000 mm 0,21x20(25)mm		16 слоя 8x50% =2,4 mm	24 слоя 12x50% =3,5mm	
	CALMICAGLAS 0409	0,24x20(25)mm			10x50% =3,5mm	
	CALMICA 70 0900	0,16x1000mm 0,16x20(25)mm	10 слоя 5x50% =1,3mm	18 слоя 9x50% =2,2mm	26 слоя 13x50% =3,3mm	
Челна изолация	CALMICA-FLEX 0824	0,11x20 mm	4x50%			В-състояние, полугъвкава челна изолация
	CALMICA-FLEX0919	0,13x20 mm		5x50%	8x50%	
	FEINMICAGLAS 0986	0,13x20 mm	4x50%	5x50%	8x50%	Суша, гъвкава челна изолация
	FEINMICAGLAS 2128	0,13x20 mm	4x50%	5x50%	8x50%	
	CALMICAGLAS S 2008	0,18x20 mm	4x50%	5x50%	8x50%	В-състояние, свиваема, твърда челна изолация
	CALMICAS 100 0902	0,20x20 mm	4x50%	5x50%	8x50%	
Защита от корона ефект в каналната част	CONFATEL H 0865	0,12x25 mm	1 x 50%			Сух, проводящ PET - мат
Полупроводяща лента в челната част	EGSB0413	0,24x20(25)mm	1x50% дължина= 60 mm	1x50% дължина = 100 mm	1-ви слой: 1x50%150mm	Полупроводяща, В-състояние
	EGSB 0483	0,28x20(25)mm			2 -ри слой 1x50% 75mm	
Покривна лента в челната част	ISOSEALP0713	0,18x20(25)mm	1 x 50%			В-състояние., покривна лента, червено-кафяв цвят
Канални пълнители	ISOVAL 11	0,2 -20mm	Размери според нуждите			Съгло ламинат епоксидна смола, EP GC 203
	CONTAVAL2017	0,2 – 20mm				Проводящ съгло ламинат, епоксидна смола
Укрепване в челните части	ISOVAL 11	0,2 -20mm	Размери според нуждите			Съгло ламинат епоксидна смола, EP GC 203
	PREFILZ 2082	0,5; 1,0; 1,5mm				Полиестер филц с епоксидна смола в В-състояние



Фиг. 2. Технологична схема на VPI – инсталация

Основните предимства на VPI – изолационната система са следните:

- Топлинен клас на изолацията - клас F или H. Обикновено се определя от импрегнационната смола;
- Висока пробивната якост на изолацията - над 50 kV/mm;
- Ниска хигроскопичност на системата - практически отсъства, изпитание на т.н. "воден тест";
- Малки диелектричните загуби - нисък tgδ (< 0,01).

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Електротехника", МЕМФ

Вследствие на вакуумирането и последващо импрегниране под налягане;

- Изолация на основа слюда за висока устойчивост на частични разряди;
- Много добра топлопроводимост.

Като съществени недостатъци на системата могат да се отбележат: висока себестойност; скъпо технологично оборудване; неремонтопригодност (при наличие на повредена секция, трябва да се демонтират всички секции от статора).

Литература

Отчет по НИС на ВМГИ 1974-76. "Разработване на гилзова изолация на тягови двигатели на електролокомотиви EL-2".

Каталожни данни и разработки на фирма ISOVOLTA - Австрия.

Тодорова А., Г. Дюстабанов. *Електротехнически материали.*, ТУ София, 2003.

АНАЛИЗ НА ДВИЖЕНИЕТО НА РОТАЦИОНЕН ФЕРОМАГНИТЕН ЕЛИПСОИД ВЪВ ВЪРЛЯЩО СЕ МАГНИТНО ПОЛЕ

Константин Костов, Стефан Пулев, Константин Тричков

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

РЕЗЮМЕ. Използването на цилиндрични феромагнитни работни частици, задвижвани от въртящо се магнитно поле, намира широко приложение за интензифициране на някои технологични процеси. При изчислението на електромагнитния момент, действащ на такива частици, се налага заменянето им с ротационни елипсоиди. В настоящата работа се изследва динамиката на движението на един ротационен елипсоид във въртящо се магнитно поле, в изотропна непрекъсната среда, при произволни начални условия.

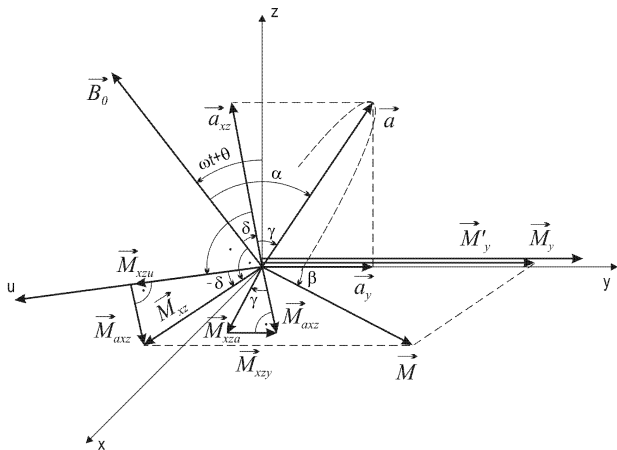
ANALYSIS OF MOVEMENT OF ROTATIONAL FERROMAGNETIC ELLIPSOID PLACED IN ROTATING MAGNETIC FIELD

Konstantin Kostov, Stefan Pulev, Konstantin Trichkov

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

ABSTRACT. Cylindrical ferromagnetic working particles driven by a rotating field are widely used to intensify certain technological processes. Rotational ellipsoids are used to model these particles when calculating the electromagnetic torque acting on them. This paper considers the dynamics of the movement of a rotational ellipsoid placed in a rotating magnetic field in an isotropic continuous medium under any initial conditions.

Познаването на закона на движението на работните частици на вихровата машина е необходимо, за да се изчисли правилно технологическият им ефект. При това трябва да се намери връзката между параметрите на магнитното поле, размерите на частиците, масата и магнитните им свойства от една страна и характеристиките на движението им. Обикновено те са с цилиндрична форма, с отношение между дължината и диаметъра $6 \div 10$, но за целите на анализа е целесъобразно заменянето им с ротационен елипсоид, Костов (2004). В настоящата работа се изследва динамиката на движението на един ротационен елипсоид във въртящо се магнитно поле, в изотропна непрекъсната среда, при произволни начални условия.



Фиг. 1.

Въвеждаме неподвижна декартова координатна система xOz , чиято координатна равнина xOz съвпада с равнината на въртене на вектора на полето $\vec{B}_0$, а началото ѝ – с центъра на елипсоида (пресечната точка на осите mu). Означаваме:

$\vec{a}$ – вектор, приложен в центъра на елипсоида и насочен по оста mu ; Показва положението на разглежданото тяло в пространството. Модулът му $|\vec{a}|$ е равен на дългата полуос a (ротационната ос) на елипсоида.

α – ъгъл между вектора на полето $\vec{B}_0$ и вектора $\vec{a}$;

ω – ъглова скорост на въртящото се магнитно поле;

$\omega t + \theta$ – ъгъл между оста z и вектора на полето $\vec{B}_0$;

γ – ъгълът, който равнина xOz сключва с вектора $\vec{a}$;

δ – ъгъл между $\vec{B}_0$ и $\vec{a}_{xz}$;

β – ъгъл между оста y и момента $\vec{M}$, действащ на елипсоида.

На фиг.1 α , β , γ , $\omega t + \theta$ и δ са ориентирани ъгли.

В Костов (2004) се извежда изразът за синхронния момент, действащ върху феромагнитен ротационен елипсоид, поставен в хомогенно магнитно поле с магнитна индукция $\vec{B}_0$ и магнитен интензитет $\vec{H}_0$. Във вакуум $\vec{B}_0 = \mu_0 \vec{H}_0$ ($\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ H/m}$ е магнитната

проницаемост за вакуум) и формулата за модула на момента има вида

$$M = -kB_o^2 \sin 2\alpha = -M_o \sin 2\alpha,$$

където

$k > 0$ – коефициент, зависещ от размерите на елипсоида и от относителната му магнитна проницаемост μ_r . За конкретно тяло, при линейни условия ($\mu_r = \text{const.}$) се получава $k = \text{const.}$

$$B_o = |\vec{B}_o| \text{ – модул на вектора на полето } \vec{B}_o.$$

$$M_o = kB_o^2 \text{ – абсолютна стойност на максималния}$$

момент. Получава се при $\alpha = \pm \frac{\pi}{4}$.

Знакът минус отразява факта, че M винаги действа в посока, обратна на α . Векторът $\vec{M}$ е перпендикулярен на равнината, определена от $\vec{a}$ и $\vec{B}_o$.

Разлагаме векторите $\vec{a}$ и $\vec{B}_o$ по следния начин:

$$\vec{a} = \vec{a}_{xz} + \vec{a}_y \text{ и } \vec{M} = \vec{M}_{xz} + \vec{M}'_y,$$

където:

$\vec{a}_{xz}$ и $\vec{M}_{xz}$ са векторни компоненти съответно на $\vec{a}$ и на $\vec{M}$, техни проекции в равнина xOz;

$\vec{a}_y$ и $\vec{M}'_y$ са векторни компоненти на $\vec{a}$ и на $\vec{M}$ по оста y.

От Фиг. 1 се вижда, че скаларните компоненти са съответно:

$$\begin{aligned} a_{xz} &= a \cdot \cos \gamma, & M_{xz} &= -|M| \sin \beta, \\ a_y &= -a \cdot \sin \gamma, & M'_y &= |M| \cos \beta. \end{aligned}$$

Да изберем за обобщени координати, еднозначно определящи положението на елипсоида в пространството, ъглите γ и δ . В такъв случай е необходимо да се изразят α и β чрез γ и δ .

Скаларното произведение на векторите $\vec{B}_o$ и $\vec{a}$ е

$$\vec{B}_o \cdot \vec{a} = B_o \cdot a \cos \alpha = \vec{B}_o \cdot (\vec{a}_{xz} + \vec{a}_y)$$

Като вземем под внимание, че $\vec{B}_o \cdot \vec{a}_y = 0$, защото $\vec{B}_o \perp \vec{a}_y$, получаваме

$$B_o \cdot a \cos \gamma \cos \delta = B_o \cdot a \cos \alpha.$$

Следователно

$$\cos \alpha = \cos \delta \cos \gamma. \quad (1)$$

Векторите $\vec{M}$ и $\vec{a}$ са перпендикулярни и $\vec{M} \cdot \vec{a} = 0$.

$$\Rightarrow \vec{M}_{xz} \cdot \vec{a}_{xz} + \vec{M}'_y \cdot \vec{a}_y = 0.$$

Тъй като $\vec{M} \perp \vec{B}_o$, от теоремата за трите перпендикуляра следва, че $\vec{M}_{xz} \perp \vec{B}_o$. Затова

$$\begin{aligned} -|M| \sin \beta \cos \gamma \cos \left(\frac{\pi}{2} - \delta \right) - |M| \cos \beta \sin \gamma &= 0. \\ \Rightarrow \sin \delta &= -\cot g \beta \cdot \tan \gamma. \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} M_{xz} &= -|M| \sin \beta = -M_o \sin 2\alpha \sin \beta = \\ &= -\frac{2M_o \cos \alpha \sqrt{1 - \cos^2 \alpha}}{\sqrt{1 + \cot^2 g^2 \beta}}. \end{aligned}$$

Заместваме $\cos \alpha$ от (1) и $\cot g \beta$ от (2):

$$\begin{aligned} M_{xz} &= -\frac{2M_o \cos \delta \cos \gamma \sqrt{1 - \cos^2 \delta \cos^2 \gamma}}{\sqrt{1 + \frac{\sin^2 \delta}{\tan^2 \gamma}}} = \\ &= -\frac{M_o \cos \delta \sin 2\gamma \sqrt{1 - \cos^2 \delta \cos^2 \gamma}}{\sqrt{\sin^2 \gamma + \sin^2 \delta \cos^2 \gamma}} = -M_o \cos \delta \sin 2\gamma. \end{aligned}$$

Аналогично намираме:

$$\begin{aligned} M'_y &= |M| \cos \beta = M_o \sin 2\alpha \cos \beta = \\ &= \frac{2M_o \cos \alpha \sqrt{1 - \cos^2 \alpha}}{\sqrt{1 + \cot^2 g^2 \beta}} \cot g \beta = -M_o \sin 2\delta \cos^2 \gamma. \end{aligned}$$

Като използваме избраните обобщени координати, разлагаме движението на елипсоида на две ротации, чиито оси сключват прав ъгъл помежду си. $\vec{M}'_y$ поражда ротация в равнина xOz с текущ ъгъл спрямо оста z на неподвижната координатна система $\omega t + \theta + \delta$ и ъглова скорост $\omega + \dot{\delta}$. Ротация, описваща ъгъл γ , се създава от момент, перпендикулярен на равнината, в която лежат $\vec{a}$ и $\vec{a}_{xz}$. Затова разлагаме $\vec{M}_{xz}$ на

– компонента $\vec{M}_{xzu}$ по ос u , която е на положителен ъгъл $\pi/2$ от $\vec{a}_{xz}$. Именно $\vec{M}_{xzu}$ изменя ъгъл γ .

– компонента $\vec{M}_{axz}$ по оста $\vec{a}_{xz}$.

От Фиг. 1 се вижда, че скаларните компоненти M_{xzu} и M_{axz} са:

$$M_{xzu} = \left| \vec{M}_{xz} \right| \cos(\pi + \delta) = -M_o \cos^2 \delta \sin 2\gamma, \quad (3)$$

$$M_{axz} = \left| \vec{M}_{xz} \right| \cos(\delta + \pi/2) = -M_o \sin \delta \cos \delta \sin 2\gamma.$$

Разлагаме $\vec{M}_{axz}$ на

– компонента $\vec{M}_{xza}$ по оста $\vec{a}$. Създава ротация около оста $2a$ на елипсоида.

– компонента $\vec{M}_{xzy}$ по оста y . $\vec{M}_{xzy}$ е колинеарен на $\vec{M}'_y$.

Скаларните компоненти са:

$$M_{xza} = \frac{M_{axz}}{\cos \gamma} = -M_o \sin 2\delta \sin \gamma,$$

$$M_{xzy} = -\left| \vec{M}_{xza} \right| \cos(\pi/2 - \gamma) = -M_o \sin 2\delta \sin^2 \gamma.$$

И така, разложиме $\vec{M}$ по следния начин:

$$\vec{M} = (\vec{M}'_y + \vec{M}_{xzy}) + \vec{M}_{xzu} + \vec{M}_{xza}.$$

Скаларната компонента на въртящия момент по оста y е

$$M_y = M'_y + M_{xzy} = -M_o \sin 2\delta \cos^2 \gamma - M_o \sin 2\delta \sin^2 \gamma = -M_o \sin 2\delta.$$

Оказа се, че освен ротациите около осите u и y , съществува и ротация около оста $2a$, дължаща се на момента $\vec{M}_{xza}$. Следователно кинетичната енергия на елипсоида има вида:

$$T = \frac{1}{2} J(\omega + \dot{\delta})^2 + \frac{1}{2} J\dot{\gamma}^2 + \frac{1}{2} J_a \dot{\phi}^2, \quad (4)$$

където

– J_a е инерционният момент на ротационния елипсоид спрямо оста $2a$;

– $\dot{\phi}$ е ъгловата скорост на елипсоида при въртенето му около оста $2a$; Следователно ϕ е третата обобщена координата. Нека отчитаме ϕ от по-далечната от равнина xOz линия, където равнината, образувана от $\vec{a}$ и $\vec{a}_{xz}$ пресича елипсоида в началния момент $t = 0$. Приемаме положителната посока да се определя по правилото на десния винт с ос $\vec{a}$.

– J е инерционният момент на ротационния елипсоид спрямо ос $2b$, минаваща през центъра на тежестта му и перпендикулярна на $\vec{a}$.

Инерционните моменти се определят както следва:

$$J_a = \frac{m}{5}(a^2 + b^2),$$

$$J = \frac{2mb^2}{5},$$

където m е масата на елипсоида.

При разлика между ъгловите скорости на полето и на елипсоида по оста y в неподвижната координатна система, т.е. при $\dot{\delta} \neq 0$, има условия за индуциране на вихрови токове в проводящия елипсоид и възниква асинхронен момент (момент на вихровите токове). Да разложим вектора $\vec{B}_o$ в момента, когато $\delta = 0$ на

$\vec{B}_{oa}$ – компонента по оста $\vec{a}$,

$\vec{B}_{oa\perp}$ – компонента, перпендикулярна на $\vec{a}$.

Поради съществуващата симетрия, при относителното движение на $\vec{B}_{oa\perp}$ спрямо елипсоида се индуцират е.д.н. с равни амплитуди и с противоположни фази в равноотдалечените от центъра му елементарни участъци. Същевременно е очевидно, че няма условия за създаване на токове, така че полето $\vec{B}_{oa\perp}$ не създава момент.

Полето $\vec{B}_{oa}$ индуцира вихрови токове. То е с модул $B_o \cos \gamma$, върти се спрямо елипсоида с ъглова скорост $\dot{\delta}$ и създава асинхронен момент. Точното аналитично изчисляване на последния е невъзможно, но поради това, че е значително по-малък от синхронния, известна неточност не би повлияла съществено на уравнението на движението. Да приемем, че

– ротационният елипсоид е заменен с цилиндър със същия обем и с дължина $2a$;

– магнитната проникваемост μ на тялото е постоянна;

– токовите контури на вихровите токове във всяко сечение, перпендикулярно на $\vec{a}$, представляват концентрични окръжности с център върху оста $\vec{a}$;

– полето на плътността на вихровите токове е плоско-паралелно;

– пренебрегваме размагнитващото влияние на ферромагнитния материал на тялото, дължащо се на хомогенното му намагнитване; Това не води до голяма грешка, защото оста $2a$ е $6 \div 10$ пъти по-дълга от диаметъра на цилиндъра.

Да отбележим с R радиуса на заменящия цилиндър. Ясно е, че $R = hb$, където $h < 1$ е коефициент, зависещ от a и b , който лесно се изчислява. С намаляване на

текущия радиус r на даден цилиндър се увеличава индуктивността на токовете тръби и затова плътността на вихровите токове намалява. При това за по-дебел цилиндър явлението е още по-подчертано, ако сравняваме при същите относителни текущи радиуси r/R . Поради това може да се приеме, че за радиуси на изследваните тела $R = 0,8 \div 3 \text{ mm}$, които представляват интерес на изследването, целият ток е съсредоточен в токова тръба с външен радиус R и дебелина d , независеща от R . Разбира се, d зависи от кръговата честота на пренамагнитването $\dot{\delta}$, но тук тази зависимост се пренебрегва. Приемаме $d = 0,4 \text{ mm}$. Тогава активното съпротивление на тръбата е приблизително

$$R_{mp} = \rho \frac{2\pi(R-d/2)}{2ad} = \rho \frac{\pi(R-d/2)}{ad}.$$

Намираме индуктивността на токовата тръба, като считаме, че $2a \gg R$ и следователно се сцепва с целия поток, създаден от нея:

$$L_{mp} = \frac{\mu \pi R^2}{2a}.$$

Сега можем да използваме формулата за средната стойност на асинхронния момент от (Фархи и Папазов, 1981), като имаме предвид, че хомогенното поле $\vec{B}_{oa}$ създава вихровите токове при въртенето си спрямо тялото:

$$M_e = -\frac{\dot{\delta} B_{oa}^2 \pi^2 R^4 R_{mp}}{2(R_{mp}^2 + \dot{\delta}^2 L_{mp}^2)}$$

Пренебрегваме $\dot{\delta}^2 L_{mp}^2$ в знаменателя, заместваме определените по-горе величини и получаваме

$$M_e = -\frac{\dot{\delta} B_o^2 \pi a d h^4 b^4 \cos^2 \gamma}{2\rho(R-d/2)} = -M_\gamma \dot{\delta} \cos^2 \gamma, (5)$$

където M_γ е моментът на вихровите токове при $\gamma = 0$ за $\dot{\delta} = 1 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$. За елипсoid с определени размери и дадена магнитна проникваемост, $M_\gamma = \text{const}$. Моментът M_e действа по оста y и се проявява само при разлика между ъгловите скорости на полето и на тялото по оста y . Знакът минус показва, че той се противопоставя на промяната на ъгъла δ .

Освен разгледаните дотук двигателни моменти, съществуват и съпротивителни, дължащи се на силите на триене. Поради малките размери на елипсоида, линейните скорости са малки и затова приемаме, че моментите на

триене са пропорционални на първата степен на съответната ъглова скорост. При това коефициентите на пропорционалност при движенията по δ и по γ са равни, защото въртенето и в двата случая е около оста $2b$ на елипсоида.

Като имаме предвид, че моментите M_{xzu} , M_y и M_{xza} действат съответно по направление на обобщените координати γ , δ и ϕ , съставяме системата диференциални уравнения на Лагранж от втори род (Писарев и др., 1988). За тази цел първо намираме производните на кинетичната енергия:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial \gamma} &= 0, & \frac{\partial T}{\partial \dot{\gamma}} &= J\dot{\gamma}; \\ \frac{\partial T}{\partial \delta} &= 0, & \frac{\partial T}{\partial \dot{\delta}} &= J(\omega + \dot{\delta}); \\ \frac{\partial T}{\partial \phi} &= 0, & \frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}} &= J_a \dot{\phi}. \end{aligned}$$

Уравненията на Лагранж са:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\gamma}} &= M_{xzu} - k_1 \dot{\gamma} \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\delta}} &= M_y - M_\gamma \dot{\delta} \cos^2 \gamma - k_1(\omega + \dot{\delta}) \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}} &= M_{xza} - k_2 \dot{\phi}. \end{aligned}$$

Тук $k_1 \dot{\gamma}$, $k_1(\omega + \dot{\delta})$ и $k_2 \dot{\phi}$ са моменти на триене при описване на съответните ъгли, а k_1 и k_2 са коефициенти на пропорционалност. Знаците минус пред моментите на триене показват, че те са обратно насочени на съответните ъгови скорости. Заместваме намерените по-горе моменти и получаваме

$$\begin{aligned} J\ddot{\gamma} &= -M_o \cos^2 \delta \sin 2\gamma - k_1 \dot{\gamma} \\ J\ddot{\delta} &= -M_o \sin 2\delta - M_\gamma \dot{\delta} \cos^2 \gamma - k_1 \dot{\delta} - k_1 \omega \\ J_a \ddot{\phi} &= -M_o \sin 2\delta \sin \gamma - k_2 \dot{\phi}. \end{aligned} \quad (6)$$

Уравненията на Лагранж (6) описват движението на ротационен елипсoid, поставен в общо положение във въртящо се с постоянна ъглова скорост хомогенно магнитно поле, във всеки момент от времето. Това е нехомогенна нелинейна система от диференциални уравнения от втори ред. Системата е нерешима в квадратури. Забелязваме, че първите две уравнения са независими от третото. При това последното не допринася за решаване на поставената задача, защото въртенето около оста $\vec{a}$ няма технологичен ефект.

Да разгледаме системата, съставена от първите две уравнения, като предполагаме, че асинхронният момент е много по-малък от синхронния и затова го пренебрегваме. Получаваме:

$$\begin{cases} J\ddot{\gamma} = -M_o \cos^2 \delta \sin 2\gamma - k_1 \dot{\gamma} \\ J\ddot{\delta} = -M_o \sin 2\delta - k_1 \dot{\delta} - k_1 \omega. \end{cases} \quad (7)$$

Да потърсим решение за случая, когато ъглите γ и δ са достатъчно малки, за да може да се приеме

$$\sin 2\gamma = 2\gamma, \quad \sin 2\delta = 2\delta \quad \text{и} \quad \cos \delta = 1.$$

Тогава системата (7) добива вида

$$\begin{cases} \ddot{\gamma} + 2k_3 \dot{\gamma} + \omega_o^2 \gamma = 0 \\ \ddot{\delta} + 2k_3 \dot{\delta} + \omega_o^2 \delta = 2k_3 \omega, \end{cases} \quad (8)$$

където сме заместили

$$\omega_o^2 = \frac{2M_o}{J}, \quad 2k_3 = \frac{k_1}{J}.$$

Получиха се две независими диференциални уравнения. Второто е нехомогенно и неговото решение е сумата от общия интеграл на хомогенното уравнение плюс един частен интеграл на нехомогенното. Решението на частния интеграл дава стационарния процес, който настъпва след безкрайно много време и е дадено в Костов (2004), където се определя ъгълът $\delta_{cm} = const.$, при който настъпва равновесие между синхронния и съпротивителния момент. Решенията на двете линейни хомогенни диференциални уравнения от втори ред с постоянни коефициенти са известни, (Писарев и др., 1988). Нека приемем първо, че средата е с малко триене, т.е. $k_3 < \omega_o$. В този случай общите интегрални на диференциалните уравнения имат вида:

$$\begin{cases} \gamma = A_o e^{-k_3 t} \sin(\omega' t + \theta'), \\ \delta = C_o e^{-k_3 t} \sin(\omega' t + \varphi') + \delta_{cm}, \end{cases} \quad (9)$$

където

$$\omega' = \sqrt{\omega_o^2 - k_3^2} \quad \text{е честота на затихващите трептения};$$

A_o, C_o, θ' и φ' са интеграционни константи и се определят чрез началните условия по отношение на $\gamma, \delta, \dot{\gamma}$ и $\dot{\delta}$. Да отбележим величините в момента $t = 0$ с индекс нула. Тогава например константите за първото движение са:

$$A_o = \sqrt{\gamma_o^2 + \left(\frac{k_3 \gamma_o + \dot{\gamma}_o}{\omega'} \right)^2},$$

$$\theta' = \arctg \frac{\omega' \gamma_o}{k_3 \gamma_o + \dot{\gamma}_o}.$$

Движението на елипсоида е затихващо трептливо по отношение на равнина xOz и на въртящия се вектор на полето $\vec{B}_o$ и води до анулирането на γ и установяването на $\delta = \delta_{cm}$. Вижда се, че движенията по двете координати са независими, но честотата им на трептене ω' е еднаква. Честотата на трептене зависи от масата и размерите на тялото, от магнитната му проницаемост, от магнитната индукция на въртящото поле B_o и от съпротивлението на средата. Известно е, че ω_o е собствената честота на трептене при липса на триене. Виждаме, че честотата на трептене в съпротивителна среда ω' е по-малка от ω_o .

Ъгълът δ се отчита спрямо въртящия се вектор $\vec{B}_o$. Следователно абсолютната ъглова скорост на елипсоида по оста y е $\omega + \dot{\delta}$, т.е. основното движение на тялото е ротация с ъглова скорост ω .

Да разгледаме сега движението при голямо съпротивление на средата. Тогава $k_3 > \omega_o$ и общите интегрални на диференциалните уравнения имат вида:

$$\begin{cases} \gamma = A_1 e^{-k_3 t} sh(\lambda t + \theta'_1), \\ \delta = C_1 e^{-k_3 t} sh(\lambda t + \varphi'_1) + \delta_{cm}, \end{cases} \quad (10)$$

където

$$\lambda = \sqrt{k_3^2 - \omega_o^2}$$

A_1, C_1, θ'_1 и φ'_1 са интеграционни константи и се определят от началните условия $\gamma_o, \dot{\gamma}_o, \delta_o$ и $\dot{\delta}_o$.

Движението по двете координати е аperiодично и отново води до анулирането на γ и установяването на $\delta = \delta_{cm}$.

Нека $k_3 = \omega_o$. Законът на движението има вида

$$\begin{cases} \gamma = e^{-k_3 t} (A_2 t + A_3), \\ \delta = e^{-k_3 t} (C_2 t + C_3) + \delta_{cm}. \end{cases} \quad (11)$$

Това е граничното аperiодично движение. Интеграционните константи се намират по същия начин. Може да се докаже, че в този случай системата най-бързо достига установеното си състояние $\gamma = 0$ и $\delta = \delta_{cm}$.

Получена е връзка между закона на движение, параметрите на полето, размерите, масата и магнитната проницаемост на елипсоида. Това е необходимо за изчисляването на технологичния ефект на работните частици на вихровата машина.

Литература

Костов, К. Н. 2004. Ротационен феромагнитен елипсоид във въртящо се магнитно поле. — *Год. МГУ "Св. Ив. Рилски"*, т. 47, св. III, Мех. електриф., 105-107.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Електротехника", МЕМФ

Писарев, А., Ц. Парасков, С. Бъчваров. 1988. *Курс по теоретична механика*. С., Техника, 501 с.

Фархи, С., С. Папазов, 1981. *Теоретична електротехника*, ч. 1. С., Техника, 630 с.

ИНДУКЦИОНЕН НЕУТРАЛИЗАТОР НА ОБЕМНИ ЗАРЯДИ С ПОВИШЕНА ЕФЕКТИВНОСТ

Стефан Стефанов¹, Иван Милев², Иван Проданов³

^{1,2,3} Минно-геоложки университет "Св.Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. В статията се предлага индукционен неутрализатор на обемни заряди, който освен традиционно използваните игловидни разрядни електроди, съдържа допълнителен електрод във вид на пръчка. Изяснява се физическата същност на влиянието на допълнителния електрод върху работата на неутрализатора. Теоретично се доказва, че допълнителният електрод повишава ефективността на неутрализатора. С неговото действие зарядът на изтичащата от тръбопровода диелектрична течност може да се неутрализира напълно.

INDUCTIVE NEUTRALIZER OF BULK CHARGES WITH INCREASED EFFICIENCY

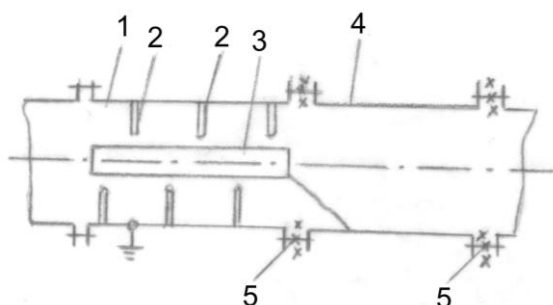
Stefan Stefanov¹, Ivan Milev², Ivan Prodanov³

^{1,2,3} University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia

ABSTRACT. An inductive neutralizer of bulk charges, which apart from the traditionally used point discharge electrodes contains an additional electrode in shape of rod, is treated in the paper. The physical nature of the additional electrode influence on the neutralizer operation is explained. The increase of the neutralizer efficiency by the additional electrode is theoretically proved. The charge of the flowing out insulating liquid can be absolutely neutralized by its action

Изясняването на физическата същност на процеса на образуване и натрупване на заряди в движещо се гориво позволява да се предложи метод за неутрализация на тези заряди с помощта на устройства, които се включват в магистралата за зареждане. Това са различни конструкции индукционни неутрализатори, елиминиращи обемни заряди.

В [1] е предложена конструктивна схема на индукционен обемен неутрализатор на статично електричество с повишена ефективност (фиг. 1).



Фиг.1

Той се състои от корпус 1, игловидни електроди 2, допълнителен електрод – пръчка 3 и накрайник 4, който е изолиран от заземения корпус 1 посредством фланци от електроизолационен материал.

При движението на заредената течност по тръбопровода, вътре в накрайника се натрупва заряд с такъв знак, какъвто е този на нефтопродукта. Посоченият

заряд, а също така и пълният обемен електрически заряд на течността в накрайника, предизвикват повишаване на потенциала на този участък, а следователно и на допълнителния електрод. Под действие на разликата в потенциалите между допълнителния електрод и игловидните електроди възниква ефектът корона, внасящ в обема на течността заряд с противоположен по отношение на течността знак. При това потенциалът на системата допълнителен електрод–накрайник се повишава дотогава, докато в накрайника съществува заряд, т.е. докато става релаксация и натрупване на заряди в него. При това токът през игловидните електроди нараства дотогава, докато сумарният заряд вътре в накрайника не стане равен на нула. По-нататък повишаването на потенциала се прекратява, като зарядът на изхода на неутрализатора напълно се анулира.

При възникване на коронен разряд между електродите 2 и допълнителния електрод 3, през игловидните електроди протича ток на проводимостта I_γ . Стойността на този ток зависи от потенциала U на допълнителния електрод, формата и разположението на допълнителния и игловидните електроди, както и от относителната електропроводимост γ на течността:

$$I_\gamma = K.U, \quad (1)$$

където K е коефициент на пропорционалност.

На изхода на корпуса 1 съществува ток на течението I_T , който е алгебрична сума на два тока:

$$I_T = \rho.W = \rho_o.W - K.U, \quad (2)$$

където ρ е плътността на обемния заряд на течността на изхода на корпуса 1, c/m^3 ;

- ρ_o - входната плътност на обемния заряд, c/m^3 ;
- W - производителността на препомпване, m^3/s ;
- $\rho.W$ - токът на течението на изхода, A ;
- $\rho_o.W$ - токът на течението на входа, A .

Потенциалът на допълнителния електрод 3 се определя от потенциала на наставката 4 и зависи от общия заряд Q_1 на течността вътре в тази наставка, от заряда Q_2 , натрупан по стените на наставката в резултат на тока на релаксация I_p , както и от електрическия капацитет C на системата наставка 4 и допълнителен електрод 3 спрямо земя:

$$U = \frac{(Q_1 + Q_2)}{C}, \quad (3)$$

където:

$$Q_1 = \rho.V, \quad (4)$$

а

$$Q_2 = \int_0^t \frac{\rho.V}{\tau}.dt. \quad (5)$$

Следователно

$$U = \frac{\rho.V + \int_0^t \frac{\rho.V}{\tau}.dt}{C}, \quad (6)$$

където: V е обемът на наставката 4, m^3 ;

τ - времекопстантата на релаксация на обемния заряд на течността, S ;

Интегралното уравнение (6) определя режима на работа на неутрализатора до началото на коронния разряд на игловидните електроди 2 (момента $t = t_o$), т.е. до достигане на началния потенциал на короната U_o . При $U = U_o$ и $t = t_o$ от (6) за времето t_o се получава:

$$t_o = U_o \frac{C.\tau}{\rho_o.V} - \tau.$$

Решението на интегралното уравнение (6) има вида:

$$\left. \begin{aligned} \rho &= \rho_o \\ u \quad t_o &= U_o \frac{C.\tau}{\rho.V} - \tau \end{aligned} \right\} 0 < t \leq t_o \quad (7)$$

След заместване на (6) в (2) се получава:

$$I_T = \rho.W = \rho_o.W - \frac{K.V}{C} \left(\rho + \frac{1}{\tau} \int_0^t \rho.dt \right). \quad (8)$$

Уравнение (8) описва процесът на неутрализация, когато наставката и допълнителният електрод достигнат стойност на потенциала U_o и в процеса на неутрализация се включва токът на короната на игловидните електроди. При това

$$\rho = \rho_o.e^{-\frac{t-t_o}{\tau'}} \Big|_{t_o \leq t \leq \infty} \quad (9)$$

След заместване на (9) в (8) се получава

$$\rho_o.e^{-\frac{t-t_o}{\tau'}}.W = \rho_o.W - \frac{K.V}{C} \left(\rho_o.e^{-\frac{t-t_o}{\tau'}} \cdot \frac{1}{\tau} \int_0^t \rho_o.e^{-\frac{S-t_o}{\tau'}}.dS \right)$$

или

$$W = W.e^{\frac{t-t_o}{\tau'}} - \frac{K.V}{C} + \frac{K.V}{C} \cdot \frac{\tau'}{\tau} + \frac{K.V}{C} \cdot \frac{\tau'}{\tau} \cdot e^{\frac{t}{\tau'}}.$$

Ако се положи $W + \frac{K.V}{C} = D$ се получава

$$D - W.e^{\frac{t-t_o}{\tau'}} = \tau' \left(\frac{K.V}{C.\tau} + \frac{K.V}{C.\tau} \cdot e^{\frac{t}{\tau'}} \right),$$

$$\text{откъдето } \tau' = \frac{D - W.e^{\frac{t-t_o}{\tau'}}}{\frac{K.V}{C.\tau} \left(1 + e^{\frac{t}{\tau'}} \right)}, \quad (10)$$

т.е. $\tau' = F(\tau')$. Следователно трябва да се намерят неподвижните точки на функцията $F(\tau')$ [2]. За тази цел се избира интервал $[\tau'_1, \tau'_2]$, $\tau'_1 > 0$. Ако $\tau' \in [\tau'_1, \tau'_2]$, то

$$\tau'_1 \leq \frac{D - W.e^{\frac{t-t_0}{\tau'}}}{\frac{K.V}{C.\tau} \left(1 + e^{\frac{t}{\tau'}}\right)} \leq \tau'_2 \quad (11)$$

$$\begin{aligned} F'(\tau') &= \frac{d.F(\tau')}{d.\tau'} = \frac{1}{\frac{K.V}{C.\tau}} \cdot \frac{\left(D - W.e^{\frac{t-t_0}{\tau'}}\right) \left(1 + e^{\frac{t}{\tau'}}\right) - \left(D - W.e^{\frac{t-t_0}{\tau'}}\right) \left(1 + e^{\frac{t}{\tau'}}\right)}{\left(1 + e^{\frac{t}{\tau'}}\right)^2} = \\ &= \frac{C.\tau}{K.V} \cdot \frac{e^{\frac{t}{\tau'}} \left(-W.t.e^{-\frac{t_0}{\tau'}} + W.t_0.e^{-\frac{t_0}{\tau'}} + W.t_0.e^{\frac{t-t_0}{\tau'}} - W.t - \frac{K.V}{C} - t\right)}{\left(1 + e^{\frac{t}{\tau'}}\right)^2} \end{aligned} \quad (13)$$

Като се има предвид, че $\frac{dF(\tau')}{d\tau'}$ се определя с израза (13), то неравенството $\left|\frac{dF(\tau')}{d\tau'}\right| \leq 1$ може да бъде удовлетворено при подходящ избор на параметрите K, V, C, W и τ . Следователно от принципа за свиващите изображения $F(\tau')$ има единствена неподвижна точка в интервала $[\tau'_1, \tau'_2]$, която може да се намери като граница на редицата от последователни приближения, образувана по следния начин:

$$\tau'_{(n)} = F[\tau'_{(n-1)}], \quad (14)$$

като $\tau'_{(0)}$ се избира произволно от интервала $[\tau'_1, \tau'_2]$, т.е.

$$\tau'_{(1)} = \frac{D - W.e^{\frac{t-t_0}{\tau'_{(0)}}}}{\frac{K.V}{C.\tau} \left(1 + e^{\frac{t}{\tau'_{(0)}}}\right)}$$

За да се продължи анализа трябва да се изследва дали $F(\tau')$ е свиваща се функция, т.е. изпълнено ли е условието

$$|F'(\tau')| < 1 \quad (12)$$

Производната на функцията $F(\tau')$ има вида:

$$\tau'_{(2)} = \frac{D - W.e^{\frac{t-t_0}{\tau'_{(1)}}}}{\frac{K.V}{C.\tau} \left(1 + e^{\frac{t}{\tau'_{(1)}}}\right)}$$

и т.н.

В заключение може да се направи изводът, че първоначално зарядът на изхода на неутрализатора се стреми към нула с времеконстанта τ , а след достигане на потенциала U_0 между електродите 2 и 3 - с времеконстанта τ' . При това токът на проводимостта повишава ефективността, като сам участва в процеса на неутрализация, съкращавайки времето, за което зарядът на изхода на неутрализатора се елиминира напълно.

Литература

Стефанов, С., И. Милев, И. Проданов. Особенности на електризацията на диелектрични течности от преливащи магистрали в приемни резервоари и устройства за ограничаване на появилото се статично електричество. Годишник на МГУ, том 47, св. III, София, 2004, стр. 73-75.

Angelov V. C. Fixed point theorems en uniform spaces and applications. Czechoslovak Mathematical Journal V.37(112), 1987, 19-33.

ИЗПОЛЗВАНЕ ТЕОРЕМАТА НА ШОКЛИ-РАМО ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ ЗАРЯДА НА ЕДИНИЦА ДЪЛЖИНА НА СТРУНЕН НЕУТРАЛИЗАТОР

Стефан Стефанов¹, Иван Милев², Иван Проданов³

^{1,2,3} Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. В статията се разглежда конструкция на индукционен струнен неутрализатор на електростатични заряди. Предлага се методика за неговото оразмеряване. Чрез използване на теоремата на Шокли-Рамо се извежда израз, с който се определя линейната плътност на заряда на единица дължина и интензитета на електрическото поле на разрядния електрод, представляващ опъната струна (проводник).

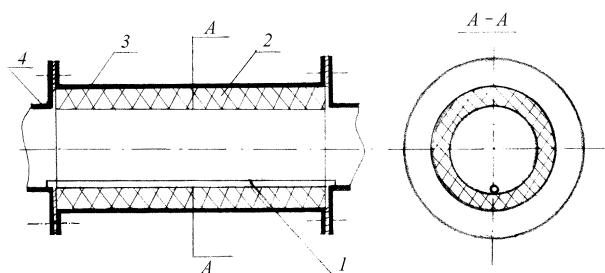
USE OF THE SHOCKLY-RAMO THEOREM FOR DETERMINATION OF THE STRING NEUTRALIZER CHARGE PER UNIT OF LENGTH

Stefan Stefanov¹, Ivan Milev², Ivan Prodanov³

^{1,2,3} University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia

ABSTRACT. Design of an inductive string neutralizer of electrostatic charges is treated in the system. A methodology for its dimensioning is proposed. An expression for determination of the charge linear density per unit of length and the electric field strength of the discharge electrode representing astringed wire (string) is worked out by the Shockly-Ramo theorem.

Едно от средствата за понижаване плътността на заряда на наелектризиран нефтопродукт е използването на индукционен неутрализатор със заземен разряден електрод във вид на проводник с малък диаметър (струнен неутрализатор) (фиг.1).



Фиг.1

Работата на такъв неутрализатор се основава на увеличаване проводимостта на течността под действие на електрическото поле, възникващо в областта на разряден електрод, създадено от преминаващата течност. Колкото по-силно е полето в областта около електрода, толкова по-ефективно е действието на неутрализатора.

Интензитетът на полето около електрода до голяма степен се определя от дебелината на диелектричната вложка (2) и диаметъра на разрядния електрод (1). Ако са зададени проходният диаметър на неутрализатора, диаметърът на разрядния електрод, входната плътност на заряда и желаният коефициент на ефективност, задачата за изчисляване на неутрализатора се свежда до

определяне на оптималния външен диаметър на диелектричната вложка и дължината на разрядния електрод.

Редът на изчисляване се състои в следното: определяне на тока на отрязък от разрядния електрод с дължина Δl_1 , за който интензитетът на електростатичното поле се приема за постоянен; изчисляване на заряда в следващия по дължината участък на неутрализатора Δl_2 с отчитане на изтичащия заряд по дължината Δl_1 и т.н.

Резултантната дължина на разрядния електрод е

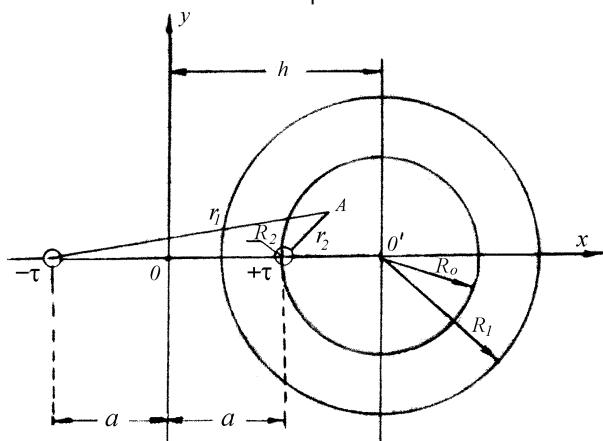
$$l = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \dots + \Delta l_n, \quad (1)$$

при която се достига зададеният коефициент на ефективност. Количеството на заряда, изтичащ в земята от участъка Δl на разрядния електрод се определя от интензитета на полето, вида на течността и диаметъра на разрядния електрод. Интензитетът на полето, създадено от електрода, се определя от индуктирания върху него заряд на единица дължина τ в зависимост от входната плътност ρ на заряда в неутрализатора.

Правят се следните допускания: краевият ефект на участъка от разрядния електрод Δl не се отчита, което позволява да се реши равнинна задача; поради малкия диаметър на разрядния електрод интензитетът на полето

по повърхността му се приема за равномерен; относителната диелектрична проникваемост на диелектричната вложка и на нефтопродукта, се приемат за постоянни; при изчисляването не се отчита влиянието на заряда на течността, отложен върху стените на диелектричната вложка, което значително опростява решението, а възникваща грешка води до занижаване на изчислените стойности за ефективността на неутрализатора в сравнение с истинските.

Стойността на заряда τ , индукиран на единица дължина на разрядния електрод, се определя в съответствие със схемата на фиг. 2.



Фиг.2. 1 – разряден електрод; 2 – диелектрична вложка; 3 – корпус; 4 – тръбопровод

Предвид малкия радиус на разрядния електрод R_2 се приема, че неговият център е разположен на разстояние R_0 от оста на сечението на неутрализатора R_0 е вътрешният радиус на диелектричната вложка).

В съответствие с теоремата на Шокли-Рамо [1] зарядът, индукиран на един от електродите, следствие на заряда Q създаващ полето, се определя с израз

$$Q_{\text{инд}} = Q \cdot \varphi_A, \quad (2)$$

където φ_A е потенциалът на фиктивно лапласово поле в точката, в която се намира зарядът Q , който възниква, ако на електрода, на който се определя заряда е зададен потенциал равен на единица, а на останалите електроди потенциалите са равни на нула.

Следователно, върху разрядния електрод зарядът е:

$$\tau = \iint \rho \cdot \varphi_A \cdot ds, \quad (3)$$

където S е площта на сечението на неутрализатора, запълнено с наелектризираната течност.

Лапласовият потенциал φ_A се определя по методика за изчисляване на електрическо поле в система на коаксиални цилиндри [2]:

$$\varphi_A = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_o\epsilon_r} \ln \frac{r_1}{r_2}. \quad (4)$$

Потенциалите на цилиндрите с радиуси R_1 и R_2 са:

$$\varphi_1 = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_o\epsilon_r} \ln \frac{a + (h - R_1)}{R_1}, \quad a \quad (5)$$

$$\varphi_2 = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_o\epsilon_r} \ln \frac{2a}{R_2}. \quad (6)$$

По условието на теоремата на Шокли-Рамо

$$\varphi_2 - \varphi_1 = 1,$$

следователно

$$\frac{\tau}{2\pi\epsilon_o\epsilon_r} \ln \frac{2a}{R_2} - \frac{\tau}{2\pi\epsilon_o\epsilon_r} \ln \frac{a + (h - R_1)}{R_1} = 1,$$

откъдето

$$\tau = \frac{2\pi\epsilon_o\epsilon_r}{\frac{2a}{R_2} \ln \frac{R_2}{a + (h - R_1)}} = \frac{2\pi\epsilon_o\epsilon_r}{\ln \frac{2aR_1}{R_2[a + (h - R_1)]}}. \quad (7)$$

Замествайки (7) в (4) се получава

$$\varphi_A = \frac{1}{\ln \frac{2aR_1}{R_2[a + (h - R_1)]}} \cdot \ln \frac{\sqrt{(x+a)^2 + y^2}}{\sqrt{(x-a)^2 + y^2}}. \quad (8)$$

Зарядът на единица дължина на разрядния електрод е

$$\tau = \frac{\rho}{\ln \frac{2aR_1}{R_2[a + (h - R_1)]}} \iint \ln \frac{\sqrt{(x+a)^2 + y^2}}{\sqrt{(x-a)^2 + y^2}} dx \cdot dy.$$

Точка O' (фиг.2) е с координати: $O'(a + R_0, 0)$, а $x \in [a, 2R_0]$.

От уравнението за окръжност

$$(x - a - R_0)^2 + y^2 = R_0^2$$

се определя: $y_1(x) = -\sqrt{R_0^2 - (x - a - R_0)^2}$ и

$$y_2(x) = +\sqrt{R_o^2 - (x - a - R_o)^2}.$$

При това

$$\tau = \frac{\rho}{\ln \frac{2aR_1}{R_2[a + (h - R_1)]}} \int_a^{a+2R_o} \int_{-\sqrt{R_o^2 - (x-a-R_o)^2}}^{\sqrt{R_o^2 - (x-a-R_o)^2}} \ln \sqrt{\frac{(x+a)^2 + y^2}{(x-a)^2 + y^2}} dx dy. \quad (9)$$

Ако се положи $A = \frac{\rho}{\ln \frac{2aR_1}{R_2[a + (h - R_1)]}}$, изразът (9) добива вида:

$$\tau = \frac{1}{2} A \int_a^{a+2R_o} \int_{-\sqrt{R_o^2 - (x-a-R_o)^2}}^{\sqrt{R_o^2 - (x-a-R_o)^2}} \left\{ \ln[(x+a)^2 + y^2] - \ln[(x-a)^2 + y^2] \right\} dx dy \quad (10)$$

След интегриране по части, по отношение на променливата y , от (10) се получава:

$$\begin{aligned} \tau = A & \left\{ \int_a^{a+2R_o} \sqrt{R_o^2 - (x-a-R_o)^2} \cdot \ln[(x+a)^2 + R_o^2 - (x-a-R_o)^2] dx - \right. \\ & - 2\sqrt{R_o^2 - (x-a-R_o)^2} + 2(x+a) \cdot \arctg \frac{\sqrt{R_o^2 - (x-a-R_o)^2}}{(x+a)} - \\ & - \sqrt{R_o^2 - (x-a-R_o)^2} \cdot \ln[(x-a)^2 + R_o^2 - (x-a-R_o)^2] + \\ & \left. + 2\sqrt{R_o^2 - (x-a-R_o)^2} - 2(x-a) \cdot \arctg \frac{\sqrt{R_o^2 - (x-a-R_o)^2}}{(x-a)} \right\}. \quad (11) \end{aligned}$$

По-нататък следва да се извърши интегриране на израза (11) по отношение на променливата x . Интегрирането само на първия член от този израз е:

$$\int_a^{a+2R_o} \sqrt{R_o^2 - (x-a-R_o)^2} \cdot \ln[(x+a)^2 + R_o^2 - (x-a-R_o)^2] dx.$$

Ако се положи $x - a - R_o = \vartheta$, то: при $x = a$, то $\vartheta = -R_o$, при $x = a + 2R_o$, то $\vartheta = R_o$, $x - a + a - a - R_o = \vartheta$, откъдето $x + a = \vartheta + 2a + R_o$.

Тогава

$$\int_a^{a+2R_o} \sqrt{R_o^2 - (x-a-R_o)^2} \cdot \ln[(x+a)^2 + R_o^2 - (x-a-R_o)^2] dx = \int_{-R_o}^{R_o} \sqrt{R_o^2 + \epsilon^2} \cdot \ln[(\epsilon+2a+R_o)^2 + R_o^2 - \epsilon^2] d\epsilon. \quad (12)$$

Решението на израза (12) се извършва, като се използва итерацията $\epsilon = R \sin \tau$. Следователно

$$\begin{aligned} & \int_{-R_o}^{R_o} \sqrt{R_o^2 + \epsilon^2} \cdot \ln[(\epsilon+2a+R_o)^2 + R_o^2 - \epsilon^2] d\epsilon = \\ & = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \sqrt{R_o^2 (1 - \sin^2 \tau)} \cdot \ln(R_o \cdot \sin \tau + 2a + R_o^2 - R_o^2 \sin^2 \tau) R_o \cos \tau d\tau = \\ & = R_o^2 \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \ln \left[(2a + R_o^2) \left(1 + \frac{R_o^2 \cos^2 \tau + R_o \sin \tau}{2a + R_o^2} \right) \right] d\tau. \end{aligned}$$

По-нататък изразът $\ln \left(1 + \frac{R_o^2 \cos^2 \tau + R_o \sin \tau}{2a + R_o^2} \right)$ се разлага в ред на Тейлор, или

$$\ln \left(1 + \frac{R_o^2 \cos^2 \tau + R_o \sin \tau}{2a + R_o^2} \right) \approx \frac{R_o^2 \cos^2 \tau + R_o \sin \tau}{2a + R_o^2} - \frac{1}{2} \left(\frac{R_o^2 \cos^2 \tau + R_o \sin \tau}{2a + R_o^2} \right)^2.$$

Тогава

$$\begin{aligned} & R_o^2 \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \left[(2a + R_o^2) \left(1 + \frac{R_o^2 \cos^2 \tau + R_o \sin \tau}{2a + R_o^2} \right) \right] d\tau = R_o^2 \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \cos^2 \tau \left[\ln(2a + R_o^2) + \frac{R_o^2}{2a + R_o^2} \cos^2 \tau + \frac{R_o}{2a + R_o^2} \sin \tau - \right. \\ & \left. - \frac{1}{2} \cdot \frac{R_o^2}{2a + R_o^2} \cos^2 \tau - \frac{1}{2} \cdot \frac{R_o}{2a + R_o^2} \sin \tau \right] d\tau = R_o^2 \ln(2a + R_o^2) \frac{\pi}{2} + \\ & + \frac{R_o^4}{2a + R_o^2} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \cos^4 \tau d\tau + \frac{R_o^3}{2a + R_o^2} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \sin \tau \cdot \cos^2 \tau d\tau = R_o^2 \ln(2a + R_o^2) \frac{\pi}{2} + \frac{3R_o^4}{4(2a + R_o^2)}, \end{aligned}$$

тъй като

$$\int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \cos^4 \tau d\tau = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^4 \tau d\tau = 2 \frac{(4-1)!!}{4!!} = 2 \frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4} = \frac{3}{4}, \quad \text{а} \quad \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \sin \tau \cdot \cos^2 \tau d\tau = 0.$$

Интегрирането на останалите членове на израз (11) се извършва по аналогичен начин.

От фиг. 2 следва, че $h = a + R_o$.

Като се използва свойството $\frac{h+a}{R_1} = \frac{R_1}{h-a}$ [2] се получава

$$(h-a)(h+a) = (a+R_o-a)(a+R_o+a) = R_1^2, \text{ откъдето}$$

$$a = \frac{R_1^2 - R_o^2}{2R_o}, \quad h = \frac{R_1^2 + R_o^2}{2R_o}, \text{ а дебелината на стената}$$

на диелектричната вложка е $d = R_1 - R_o$.

При определен заряд τ на единица дължина на разрядния електрод интензитетът на полето е

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_o\epsilon_r R_2}.$$

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Електротехника", МЕМФ

В заключение може да се направи изводът, че в доклада е направено теоретично изследване и е предложена методика, по която при зададени ρ, R_o, R_1, R_2 и при променливо d може да се построи зависимостта $E(\tau) = f(d)$, а от там да се избере ефективността на неутрализатора.

Литература

- Герштейн Г.М. Общий случай наведения токов при движении заряда и незаряженных проводников. Журн.техн.физ., 35, №5, 1963.
Даревский А.И., Е.С.Кухаркин. Теоретические основы электротехники, часть II, Основы теории электромагнитного поля, М., изд. "Высшая школа", 1965.

АНАЛИТИЧНИ ЗАВИСИМОСТИ ЗА ЕДИН ВИД ПОДЕМНО УСТРОЙСТВО С ПОСТОЯНЕН МАГНИТ

Андрей Стефанов Козаров¹, Снежана Стефанова Стоянова²

¹ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

² Университет "Проф. д-р Асен Златаров", Бургас

РЕЗЮМЕ. В доклада е представен математичен модел за разработване на подемно устройство с постоянен магнит и повишени качества в сравнение с досега използвани аналози.

ANALYTIC DEPENDENCIES FOR A TYPE OF A HOISTING DEVICE WITH A CONSTANT MAGNET

Andrei Kozarov¹, Snejana Stoianova²

¹ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia

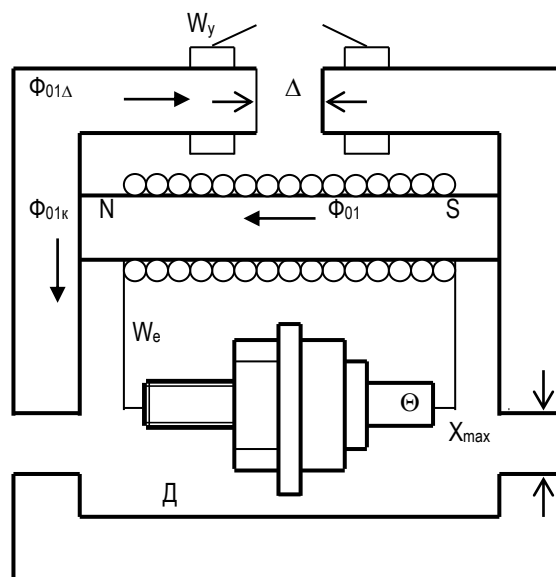
² University "Prof. d-r Asen Zlatarov", Burgas

ABSTRACT. A characteristic of the device is that the slacking and attaching the magnet is carried out without demagnetization and magnetization of the constant magnet. Constructively, it is achieved by creating a parallel way for the magnetic flow. That way is parallel to the anchor. With help of the operating coil, at the time of slacking the magnetic flow of the constant magnet deflects from the anchor. At the time of attracting, through the additional magnetic conductor, a flow with opposite direction is created. This flow connects with the main flow through the anchor. The main dependencies between the parameters of proposed construction are deduced.

Въведение

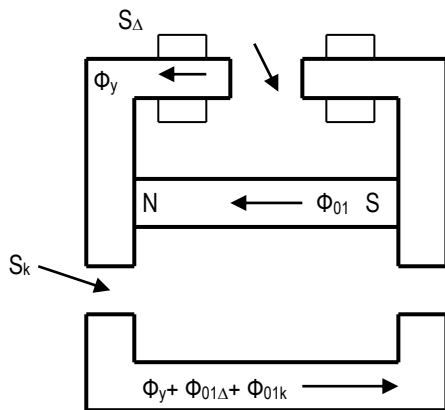
Подемното устройство с постоянен магнит може да бъде управлявано без да се размагнитва постоянния магнит, като магнитният поток, създаден от постоянния магнит се отклонява от котвата чрез подходящо приложено краткотрайно магнитодвижещо напрежение [1]. Такова устройство по принцип е показано на фиг.1 в случая, когато липсва управляващо въздействие и котвата е отпусната. Тогава магнитният поток Φ_{01} , създаден от постоянния магнит е сравнително малък поради наличието на голяма въздушна междина $X_{\max}$ към котвата. При това потокът Φ_{01k} през котвата е още по-малък, тъй като част от потока Φ_{01} се отклонява през горната въздушна междина Δ , през която минава потокът $\Phi_{01\Delta}$. При това с първо приближение (пренебрегване на останалите потоци на разсейване) $\Phi_{01} = \Phi_{01k} + \Phi_{01\Delta}$. Поради малката стойност на потока $\Phi_{01\Delta}$ подемната сила не може да привлече котвата.

На фиг.2 е показано състоянието на системата при подаване на управляващ ток импулс върху намотката W_y с цел привличане на котвата. Магнитодвижещото напрежение $U_{wy} = W_y i_y$, създадено от управляващата намотка, създава през въздушната междина магнитен поток Φ_y , насочен противоположно на потока $\Phi_{01\Delta}$ от предния случай. През екраниращата намотка W_e протича голям ток в проводящата посока на диода D и този ток,



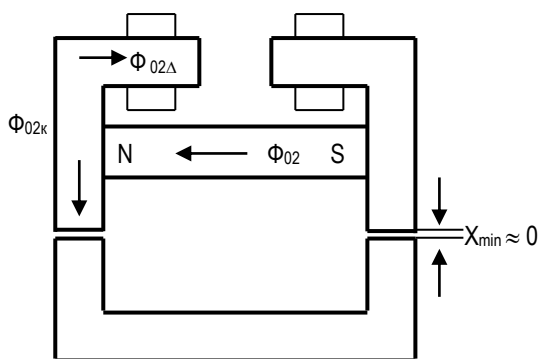
Фиг.1. Подемно устройство с постоянен магнит

съгласно принципа на Ленц, запазва потока Φ_{01} практически непроменен. Следователно през котвата се насочва допълнително поток $\Phi_{\text{доп}} = \Phi_{01\Delta} + \Phi_y$. Това увеличава съществено подемната сила и котвата се привлича.



Фиг. 2. Състояние на електромагнитната система при подаване на управляващ токов импулс върху управлящата намотка W_y с цел привличане на котвата

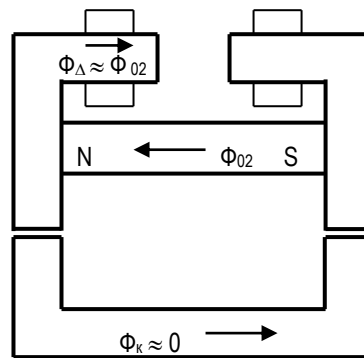
На фиг.3 е показано състоянието на системата след привличането на котвата.



Фиг. 3. Състояние на електромагнитната система след привличането на котвата

Управляващият токов импулс е затихнал. През въздушната междина Δ преминава потокът $\Phi_{02\Delta} < \Phi_{01\Delta}$. През котвата преминава потокът $\Phi_{02k} > \Phi_{01k}$. През постоянния магнит преминава потокът $\Phi_{02} = \Phi_{02\Delta} + \Phi_{02k} > \Phi_{01}$. Потокът Φ_{02} е по-голям от Φ_{01} , защото общото магнитно съпротивление, през което е затворен постоянния магнит е по-малко ($X_m > X \approx 0$). Нарастването на потока от Φ_{01} до Φ_{02} става бързо, защото диодът Д не позволява протичане на ток през W_e в посока, която се противопоставя на нарастването на Φ_0 .

На фиг.4 е показано състоянието на електромагнитната система при подаване на управляващ токов импулс за отпускане на котвата. Този импулс има противоположна посока на предишния. При това голяма част от потока през котвата Φ_{02k} се отклонява от нея и се насочва към междината Δ . При това привличането на котвата рязко намалява и котвата се отпуска. След затихване на управляващия импулс системата бавно преминава в състоянието, показано на фиг.1, тъй като индуктираните токове в W_e затихват също бавно.



Фиг. 4. Състояние на електромагнитната система при подаване на управляващ токов импулс за отпускане на котвата

Постановка на задачата

Тъй като управлящите импулси трябва да имат значителна мощност, най-целесъобразно е те да се получават чрез разреждане на достатъчно голям капацитет през управлящата намотка. Необходимо е да се създаде методика за определяне на големината на необходимия капацитет, напрежението до което той трябва да бъде зареден за привличане и отпускане, големината на въздушната междина Δ и броя на навивките на управлящата намотка W_y . За решаване на задачата с първо приближение се приемат следните опростяващи предположения.

Пренебрегват се потоците на разсейване. Пренебрегват се магнитните съпротивления на всички части на магнитопровода с изключение на постоянния магнит. Пренебрегват се активните съпротивления на тоководещите части. Приема се още, че въздушната междина между полюсите и котвата се изменя между стойностите X_{max} и X_{min} .

Анализ на работните процеси

А.Отпусната котва

Изчисляването на състоянието на устройството при отпусната котва и липса на управляващ импулс за привличане е елементарно и тук не се разглежда. Това изчисляване трябва да осигури само малка стойност на подемната сила върху котвата, така че тази стойност да бъде няколко пъти по-малка от теглото на котвата.

Б. Процес на привличане

Кондензаторът е зареден до начално напрежение U_0 и в момента $t = 0$ се включва към намотката. От този момент са в сила уравненията:

$$\frac{q(t)}{C} + W_y \frac{d\Phi_y(t)}{dt} = 0$$

$$\Phi_y(t) = \frac{W_y \frac{dq}{dt}}{\frac{\Delta}{S_{\Delta}\mu_0} + \frac{2X}{S_k\mu_0}}$$

$$\frac{[\Phi_y(t) + \Phi_{01k}]^2}{S_k \mu_0} = M \left(g - \frac{d^2 X}{dt^2} \right)$$

При начални условия:

$$q(0) = U_0 C$$

$$\left(\frac{dq}{dt} \right)_{t=0} = 0 \text{ или } \Phi_y(0) = 0$$

$$X(0) = X_{\max}$$

$$\left(\frac{dX}{dt} \right)_{t=0} = 0,$$

където: $\Phi_y(t)$ е потокът през въздушната междина Δ ,

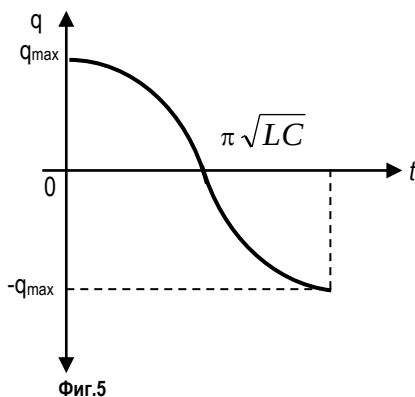
създаден от управляващия ток $i = \frac{dq}{dt}$, а $q(t)$ е зарядът

на кондензатора. За да се избегне допълнително усложняване, с цената на малка грешка, времето от момента на включване $t = 0$ до момента в който подемната сила надмине теглото на котвата е пренебрегнато. Написаната система диференциални уравнения е нелинейна и аналитичното ѝ решение е невъзможно. Компютърното решение също е обемисто и не дава обозрими резултати, удобни за практически изводи.

Съществуват частни случаи, възможни на практика, които могат да създадат представа за характера на процесите и на най-важните зависимости между параметрите, които подлежат на определяне.

Най-лесен за изследване е случаят, при който електрическият процес (протичане през управляващата намотка на първата полувайна на тока) завършва преди котвата да е получила забележимо изменение на координатата X ($X \approx X_{\max}$), но при това, котвата е получила достатъчна скорост, така че по инерция да достигне до полюсите на електромагнита. В този случай явленията се описват със следните уравнения:

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{q}{C} = 0; \left(\frac{L}{W_y} \frac{dq}{dt} + \Phi_{01k} \right)^2 \cdot \frac{1}{S_k \mu_0} = M \left(g - \frac{d^2 X}{dt^2} \right)$$



където M е масата на котвата, а

$$L = W_y^2 \cdot \left(\frac{\Delta}{S_{\Delta} \mu_0} + \frac{2X_{\max}}{S_k \mu_0} \right)^{-1}.$$

Начални условия:

$$q(0) = U_0 C; \left(\frac{dq}{dt} \right)_{t=0} = 0; X(0) = X_{\max}; \left(\frac{dX}{dt} \right)_{t=0} = 0.$$

При това, тъй като тук е прието, че токът $i = \frac{dq}{dt}$ се

анулира преди координатата X да е получила забележимо изменение за някакво малко време Δt , второто диференциално уравнение може да се интегрира в граници от 0 до Δt , при което се получава:

$$\frac{1}{S_k \mu_0} \int_0^{\Delta t} \left(\frac{L}{W_y} \frac{dq}{dt} + \Phi_{01k} \right)^2 dt = M(g\Delta t + V_k)$$

(уравнение А)

Тук V_k е скоростта, получена от котвата в посока нагоре в края Δt на преходния процес за да достигне котвата до полюсите, т.е. за да се получи $X \approx 0$ е необходимо да се изпълни условието $V_k = \sqrt{2gX_{\max}}$, където g е земното ускорение.

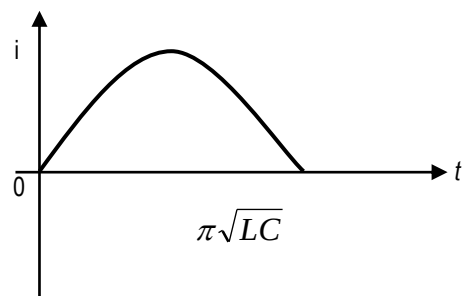
Решаването на диференциалното уравнение за заряда q при написаните начални условия дава следния израз:

$$q = U_0 C \cos \Omega t, \text{ където } \Omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \text{ като за}$$

положителна е приета полярността на заряда в C , показана на фигурата. Ако за положителна се приеме посоката на тока на разреждане се получава:

$$i = \frac{U_0}{\sqrt{L}} \sin \Omega t. \text{ Тъй като разреждането се осъществява}$$

през отпушен тиристор, формулите са валидни докато токът е положителен (на разреждане), т.е. за $0 \leq t \leq \pi\sqrt{LC} = \Delta t$.



Във формула (А) се замества $\frac{dq}{dt} = i$ и поради малката стойност на Δt величината $g\Delta t$ се пренебрегва пред V_k . Така се получава:

$$\frac{\pi U_0^2}{2W_y^2} (LC)^{\frac{3}{2}} + 2U_0 LC \Phi_{01k} + \pi \Phi_{01k} \sqrt{LC} \geq M \sqrt{2qX_{\max}} S_k \mu_0.$$

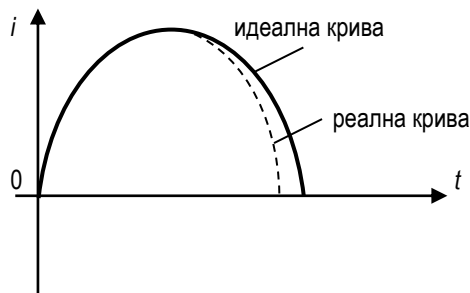
Написаната формула е точна при: $\sqrt{\frac{2X_{\max}}{g}} \gg \pi \sqrt{LC}$.

Въпреки направените опростяващи предположения полученият израз е неудобен за практическо определяне на параметрите U_0 , C и W_y при зададена геометрия на магнитната система. По-прост и удобен израз може да се получи, ако се пренебрегне потокът Φ_{01k} . Така се получава по-силно неравенство, което гарантира с по-голяма сигурност привличането на котвата:

$$\frac{\pi U_0^2}{2W_y^2} (LC)^{\frac{3}{2}} \geq M \sqrt{2gX_{\max}} S_k \mu_0$$

като се вземе предвид, че $L = \frac{\mu_0 W_y^2}{\frac{\Delta}{S_{\Delta}} + \frac{2X_{\max}}{S_k}}$ се получава:

$$\pi U_0^2 W_y C^{\frac{3}{2}} \left(\frac{S_{\Delta}}{\Delta S_k + 2X_{\max} S_{\Delta}} \right)^{\frac{3}{2}} \sqrt{\mu_0 S_k} \geq 2\sqrt{2} M \sqrt{gX_{\max}}$$



Фиг. 7.

Г. Процес на отпускане на котвата

Целта на процеса е да се отклони почти целия поток, привличащ котвата и създаден от постоянния магнит през въздушната междина Δ на магнитния шунт. За целта през управляващата намотка W_y се пропуска краткотраен токов импулс с посока, обратна на посоката при привличането на котвата. Големината на тока се определя от изказа:

$$W_y i = \Phi_{02k} \cdot \frac{\Delta}{\mu_0 S_{\Delta}}.$$

Продължителността на токовия импулс трябва да бъде поне 50 ms, тъй като за такова време котвата под действие на тежестта си се отделя от полюсите на около 1 cm.

Създаването на такъв импулс е най-лесно чрез включване на постоянно напрежение със съответната големина и полярност към управляващата bobина.

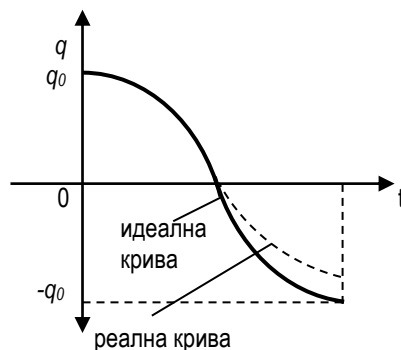
От направения анализ се вижда, че поставената задача има много решения, т.е. различни групи от стойности на U_0 , C , W_y при които се осигурява привличане на котвата.

Енергиен баланс на процеса на привличане

При направените опростяващи предположения, които водят до процес, описан с фигури 5 и 6 се получава противоречие със закона за съхранение на енергията. От фиг.5 се вижда, че в края на процеса енергията на кондензатора е равна на началната му енергия, тъй като напрежението му по абсолютна стойност в края на процеса е равно на началното. Тогава възниква въпросът откъде се е получила енергията, необходима за повдигане на котвата $\Delta E = MgX_{\max}$. Обяснението е следното. При направените предположения е пренебрегнато противо е.д.н., предизвикано от движението на котвата, което увеличава индуктивността на бобината W_y . Това противо електродвижещо напрежение е малко и за приблизителни изчисления може да се пренебрегне, но ако се прави точен баланс трябва да бъде отчетено. Отчитането му показва, че формата на разрядния ток се отличава от точната форма на синусоидална полуълна, както това е показано на фиг.7. Това води и до изменение на кривата на заряда, показано на фиг.8. Получените отклонения са малки, но напълно отговарят на баланса на енергиите, тъй като енергията, натрупана в кондензатора в началото на процеса е два порядъка по-голяма от енергията, необходима за повдигане на котвата.

В. Процес на задържане на привлечената котва.

Процесът е стационарен и елементарен за изчисление.



Фиг. 8.

Недостатък на конструкцията: теглото на електромагнита е увеличено примерно два пъти в сравнение с известните конструкции. Като се има предвид, че съвременните постоянни магнити могат да задържат товари десетки и стотици пъти по-големи от собственото им тегло, този недостатък не е съществен.

Предимство на конструкцията: повишена сигурност при задържане на товара и повишена притегателна сила в момента на привличане на котвата.

Литература

- Александров, А.К., Електрически апарати, част I, Електромагнитни и топлинни проблеми, С., ХЕРОН ПРЕС ООД, С., 2002.
Александров, А.К., Електрически апарати, С., Издателство на ТУ-София, 1999.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Електрификация на минното производство", МЕМФ

СЪПОСТАВЯНЕ НЕЛИНЕЙНОСТТА НА ТИПИЧНИ СТРУКТУРИ НА ИЗМЕРИТЕЛНИ УРЕДИ

Георги Радулов¹, Георги Трапов²

^{1,2} Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. Линеината зависимост между измерваната величина и изходния сигнал на измервателния уред (датчика) е задължително условие при съвременните системи за автоматично управление. Но редица измервателни преобразуватели, явяващи се съставна част на измервателните уреди, имат нелинейна функция на преобразуването. Това влияе върху линейността на характеристиката на уреда. Влиянието е различно при различните структурни схеми на измервателните уреди. В доклада теоретично е изследвано влиянието на нелинеен преобразувател, включен в измервателната верига на измерителен уред, в зависимост от структурната схема на уреда. Разгледани са три типични структури на уреди, които, в различни комбинации, включват цялото разнообразие от измерителни уреди. Съпоставени са абсолютните грешки, които се получават при едни и същи (като нелинейност) преобразуватели, в различните структури. Получените резултати са онагледени с таблици и графики.

JUXTAPOSITION OF NON-LINEARITY OF TYPICAL STRUCTURES OF MEASUREMENT INSTRUMENTS

Georgy Radulov¹, Georgy Trapov²

^{1,2} University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, Bulgaria

ABSTRACT. Linear dependence between measured quantity and output signal of measurement instrument (pick-off) is obligatory condition in the contemporary automatic control systems. But a large number of measurement transducers, included in measurement instruments, have non-linear characteristic. This influences the linearity of the instrument characteristic. The influence is different for different structural diagrams of the measurement instruments. In the paper is investigated theoretically the influence of non-linear transducer included in measurement circuit of measurement instrument depending on the structural diagram of the instrument. Three typical structures of the measurement instruments are investigated, which, in the different combinations, include all the diversity of the measurement instruments. In the paper are juxtaposed absolute errors, resulting in identical non-linear transducers included in different structures. The results are given in tables and black and white drawings.

Въведение в проблема

Линеината зависимост между измерваната величина и изходния сигнал на измервателния уред (датчика) е задължително условие при съвременните системи за автоматично управление. В същото време редица измервателни преобразуватели, явяващи се съставна част на измервателните уреди, имат нелинейна функция на преобразуването. Това се отразява на характеристиката на линейността на уреда. Съществуват редица похвати за линеаризиране – линейно-отсечковата апроксимация, включване последователно или паралелно на нелинейния друг преобразувател, с подходяща нелинейност, диференциално свързване на два нелинейни преобразуватели (когато това е възможно) и др. През последните години, с навлизането на микропроцесорите в измервателните уреди, линеаризирането става и по програмен път. Въпреки многообразието от методи за линеаризиране на характеристиките на измервателните уреди, използването на структурни схеми, които водят до линейни характеристики запазва своето значение. Това важи с още по-голяма сила в случаите, когато тези структури имат и други предимства (Орнатски, 1980). Това е причина да се изследват линеаризиращите свойства на типични

структурни схеми на уреди използвани в системите за автоматизация.

Постановка на задачата

Структурните схеми на използваните в системите за автоматизация измерителни уреди могат се сведат до три основни, показани съответно на фиг.1, фиг.2, фиг.3.

Функция на преобразуването на идеален измервателен уред с последователно свързани преобразуватели (фиг.1)

$$X_1 = K_1 X$$

$$X_2 = K_2 \cdot X_1 = K_1 \cdot K_2 X$$

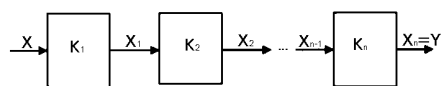
.....

$$X_i = K_i \cdot X_{i-1} = K_1 \dots K_i X$$

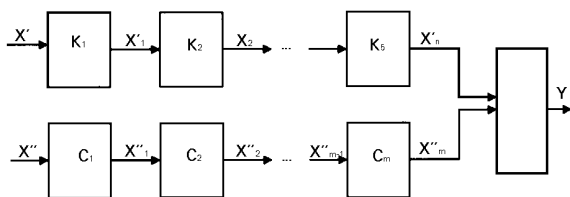
.....

$$Y = X_n = K_1 \dots K_n X$$

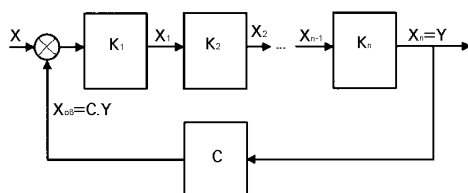
където $X_1, X_2, \dots, X_{n-1}$ и Y са информативните параметри на изходните сигнали на съответния преобразувател.



Фиг.1



Фиг.2



Фиг.3

Функция на преобразуването на идеален измерителен уред с паралелно-последователно свързване на преобразувателите (фиг. 2) ще се определи, като се определят най-напред X'_n и X''_m . Очевидно е от последния израз, че те ще бъдат равни на

$$X'_n = K_1 \cdot K_2 \dots K_n \cdot X'$$

$$X''_m = C_1 \cdot C_2 \dots C_m \cdot X''$$

Исходният сигнал на уреда ще бъде функция на двата сигнала X_n и X_m

$$Y = f(X_n, X_m)$$

Уредите с обратна връзка обхващаща всички преобразуватели, когато не съдържат във веригата за право предаване интегриращо звено са със статично уравнивяване. Когато съдържат интегриращо звено са с астатично уравнивяване. Уредите с астатично уравнивяване са по-точни, но са по-сложни и по-инерционни. Те са намерили по-слабо приложение в системите за автоматично управление. Ето защо тук ще се спрем само на уредите с статично уравнивяване (фиг.3). Тяхната преобразователна функция се получава като се изходи от преобразователната функция на отворената верига (Орнатски, 1980, Ставракиев, 1995, Радулов, 1995).

$$Y = K_1 \cdot K_2 \dots K_n \cdot \Delta X = K_1 \cdot K_2 \dots K_n \cdot (X - X_{ov})$$

където X_{ov} е сигналът на обратна връзка равен на $X_{ov} = C \cdot Y$, а C е предавателният коефициент на преобразувателя във веригата за обратна връзка (обратния преобразувател). Замествайки сигнала на обратна връзка в израза получаваме

$$Y = (X - C \cdot Y) \cdot K_1 \cdot K_2 \dots K_n$$

и след преобразуване

$$Y = \frac{K_1 K_2 \dots K_n}{1 + C \cdot K_1 \cdot K_2 \dots K_n} X$$

При положение, че е изпълнено условието $1 \ll C \cdot K_1 \cdot K_2 \dots K_n$ се получава

$$Y \approx \frac{X}{C}$$

Изследване влиянието на нелинейните преобразуватели върху характеристиката на уреда при трите структурни схеми

Дадените функции на преобразуването, както беше подчертано са на идеални уреди. В действителност измервателните уреди работят в реални условия с реални преобразуватели, които могат да бъдат, както с нелинейни преобразователни характеристики, така и да се влияят от смущаващи величини.

Да разгледаме случай когато един от преобразувателите има нелинейна характеристика $f=f(x^2)$. Нека това да е i -я преобразувател.

При уред с последователно свързани преобразуватели ще се получи

$$X_1 = K_1 \cdot X;$$

$$X_2 = K_2 \cdot X_1 = K_1 \cdot K_2 \cdot X$$

.....

$$X_i = K_i \cdot X_{i-1}^2 = K_i (K_1 \dots K_{i-1} \cdot X)^2.$$

Респективно изходният сигнал ще бъде равен на $Y = K_i \dots K_n (K_1 \dots K_{i-1})^2 X^2$

Като означим с $K = K_i \dots K_n (K_1 \dots K_{i-1})^2$ и заместим в последния израз получаваме $Y = K \cdot X^2$

Вижда се, че характеристиката на уреда остава нелинейна.

Абсолютната грешката от нелинейност, при измерителните уреди използвани в системите за автоматично регулиране, когато линейната характеристика се явява допирателна към реалната ще бъде

$$\Delta Y = KX^2 - KX = KX(X - 1)$$

При уреди с паралелно свързани преобразуватели ще се получи същият ефект. Разбира се вторият клон може да се използва за линеаризиране на характеристиката на уреда. Но това е неоправдано, защото може да стане по-просто с цитираните в началото методи.

При включването на един нелинеен преобразувател, със същата характеристика, при уреди със статическо уравнивяване ще се получи (Радулов, 2005)

$$Y^2 - \left(\frac{1 + 2K.C.X}{K.C^2} \right) Y + \frac{X^2}{C^2} = 0$$

или Y ще бъде равно на

$$Y = \frac{1 + 2K.C.X}{2K.C^2} \pm \sqrt{\left(\frac{1 + 2K.C.X}{2K.C^2} \right)^2 - \frac{X^2}{C^2}} \quad \text{или след}$$

преработка

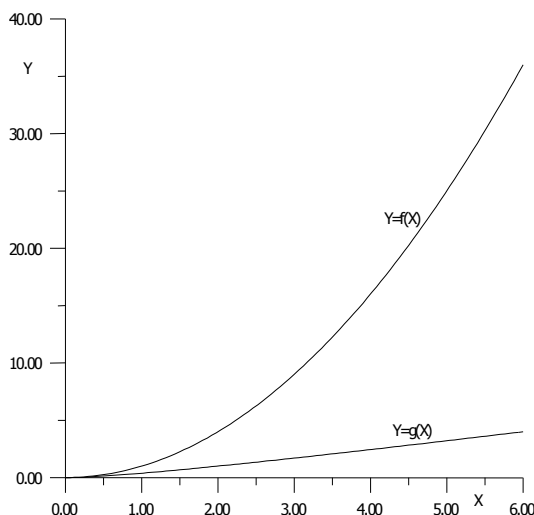
$$Y = \frac{1 + 2K.C.X}{2K.C^2} \pm \sqrt{\frac{1}{4K^2.C^4} + \frac{X}{K.C^3}} \quad (a)$$

От така получения израз по-скоро може да се заключи, че характеристиката на уреда е нелинейна. Характерът на нелинейността може да се изследва, чрез числено решение и да се съпостави с характеристиката получена при същите условия по първата структурна схема. В таблица 1 са дадени резултатите получени при числено определяне на характеристиките, за двете структури, съответно при коефициент на преобразуване $K=0,1; 1; 10; 100; 1000$, за уредите със статично уравнивяване и $K=1$ за уреди без обратна връзка.

Таблица 1.

X	K=0,1	K=1	K=10	K=100	K=1000	K=1, при уреди без обратна връзка
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0
1	0,08	0,63	0,776	0,904	0,968	1
2	0,29	1,38	1,696	1,869	1,955	4
3	0,58	2,17	2,63	2,83	2,945	9
4	0,93	3,00	3,57	3,80	3,937	16
5	1,34	3,84	4,52	4,78	4,934	25

Както и трябва да се очаква чувствителността на уредите със статично уравнивяване е много по-малка от тази на уредите с пряко предаване при една и съща стойност на коефициента на преобразуване K . Вижда се още от получените данни, че уредите със статично уравнивяване подобряват линейността на характеристиката на уреда, пак при едни и същи условия. Това става още по-ясно от фиг. 4, където са дадени характеристиките на два уреда при $K=1$ ($C=1$), съответно на уред без обратна връзка – крива $f(x)$ и уред със статично уравнивяване – крива $g(x)$.

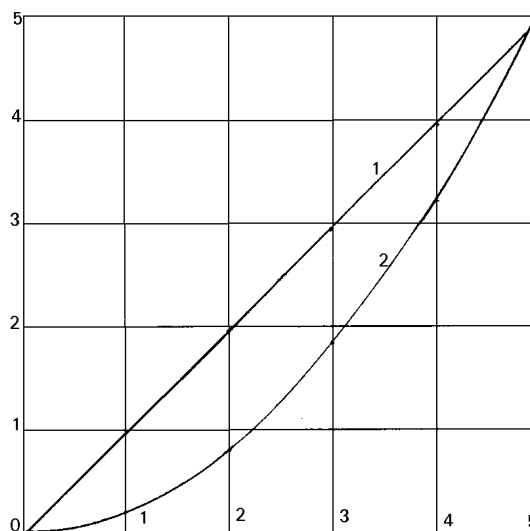


Фиг. 4.

$$f(X) = K.X^2, \quad K = 1$$

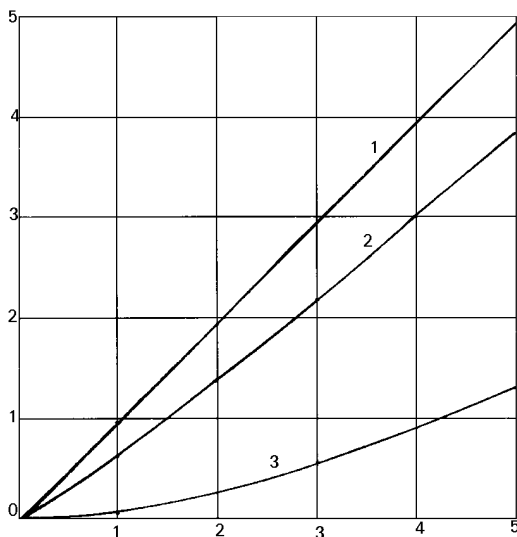
$$g(X) = \frac{1 + 2K.C.X}{2K.C^2} \pm \sqrt{\frac{1}{4K^2.C^4} + \frac{X}{K.C^3}}$$

Голямата разлика в чувствителността на двата уреда пречи да се видят ясно предимствата на уредите със статично уравнивяване, по отношение линеаризиране на характеристиката на уреда. Тези предимства се подчертават от фиг.5, където са показани характеристиката на уред със статично уравнивяване – крива 1 и характеристиката на уред с право подаване на сигнала – крива 2. И двете криви са заснети при $K=1000$. За да има съпоставимост между двете криви, мащабът, по Y , на крива 2 е намален 5K пъти.



Фиг. 5.

С цел да се онагледят изменението на нелинейността на характеристиката на уредите със статично уравновесяване, в зависимост от стойността на K , на фиг.6 са дадени три криви заснети при различни стойности на K . Крива 1 е заснета при $K=1000$, крива 2 – при $K=1$ и крива 3 – при $K=0,1$.



Фиг.6

От фиг. 6 се вижда, че с нарастването на K линейността на този тип уреди се подобрява. Това се доказва лесно и аналитично. Ако е изпълнено условието $1 \ll K.C.X$ и след съкращения се получава

$$Y^2 - \frac{2X}{C}Y - \frac{X^2}{C^2} = 0 \quad \text{или}$$

$$Y = \frac{X}{C} \pm \sqrt{\left(\frac{X}{C}\right)^2 - \left(\frac{X}{C}\right)^2} \quad \text{т.е. } Y = \frac{X}{C}$$

От уравнение (а) се вижда, че стойността на изходния сигнал Y силно зависи от C , това показва необходимостта от изследване влиянието на C върху линейността на уреда.

Да разгледаме случая когато i -я преобразувател има функция на преобразуването от вида $X_i = f(a.x + b.x^2)$, тогава сигналът след i -я преобразувател, за уреди без обратна връзка, ще бъде

$$X_i = a \cdot \prod_{j=1}^{i-1} K_j \cdot X + b \left(\prod_{j=1}^{i-1} K_j \cdot X \right)^2, \quad \text{като се}$$

приеме, че $\prod_{j=1}^{i-1} K_j = K_{\Sigma 1}$ и заместим в последния израз ще получим

$$X_i = K_{\Sigma 1} X + b K_{\Sigma 1}^2 X^2$$

Респективно за Y ще имаме

$$Y = X_i \cdot \prod_{p=i+1}^n K_p \quad \text{приемаме, че } \prod_{p=i+1}^n K_p = K_{\Sigma 2} \quad \text{или}$$

след заместване

$$Y = K_{\Sigma 2} X_i = K_{\Sigma 2} (a K_{\Sigma 1} X + b K_{\Sigma 1}^2 X^2) = a K_{\Sigma 1} K_{\Sigma 2} X + b K_{\Sigma 1}^2 K_{\Sigma 2} X^2$$

От получения израз се вижда, че характеристиката остава нелинейна и това налага включването на допълнителен линеаризиращ преобразувател.

Разгледан е и случая когато i -ят преобразувател има функция на преобразуването от вида $X_i = f(a.x + b.x^2)$. За Y се получава

$$Y = \frac{1 + BC + 2DCX}{2DC^2} \pm \sqrt{\left(\frac{1 + BC + 2DCX}{2DC^2}\right)^2 - \frac{BX + DX^2}{DC^2}}$$

Отново може да се каже, че характеристиката, в общия случай остава нелинейна.

В частния случай при приемане на условието, че $1 \ll BC + 2DCX$, се получава

$$Y = \frac{BC + 2DCX}{2DC^2} \pm \sqrt{\left(\frac{BC + 2DCX}{2DC^2}\right)^2 - \frac{BX + DX^2}{DC^2}} = \frac{B}{2DC} + \frac{X}{C} \pm \frac{B}{DC}$$

Следователно за Y има две решения

$$Y_1 = \frac{X}{C} + \frac{a}{b K_{\Sigma 1} C}$$

$$Y_2 = \frac{X}{C}$$

На практика това означава, че ще се получат две характеристики, които са прави линии, с еднакъв наклон, отместени по оста Y , на разстояние $\frac{a}{b K_{\Sigma 1} C}$. Очевидно,

характеристиката, която не минава през началото на координатната система не е решение.

Интерес представлява и случаят, когато един от преобразувателите – i -ят, има функция на преобразуване от вида $X_i = f(X^3)$. Тогава за изходния сигнал, при уредите без обратна връзка, се получава

$$Y = K_i \dots K_n (K_1 \dots K_{i-1} X)^3 = K \cdot X^3$$

Аналогично за уредите със статическо уравновесяване се получава

$Y = K_i \dots K_n (K_1 \dots K_{i-1} \Delta X)^3$, т.е. $Y = K(\Delta X)^3$, където е положено $K = K_i \dots K_n (K_1 \dots K_{i-1})^3$.

Тъй като $\Delta X = X - CY$, то

$$Y = K(X - CY)^3.$$

/*/

Това равенство определя неявно функционалната зависимост между променливите Y и X . Решено относно X се получава

$X = \sqrt[3]{\frac{Y}{K}} + CY$, което представлява зависимостта на X от Y в явен вид.

Сега ще бъде получена в явен вид и зависимостта на Y от X .

След полагане $X - CY = Z$ и преработка равенство /*/ добива вида

$Z^3 + \frac{1}{CK} Z - \frac{X}{CK} = 0$, което ще бъде разглеждано като уравнение спрямо Z .

Ако се положи $p = \frac{1}{CK}$, $q = -\frac{X}{CK}$ уравнението става $Z^3 + pZ + q = 0$, за решаването на което може да се приложи формулата на Кардано:

$$Z = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}} + \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}}, \text{ т.е.}$$

$$X - CY = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}} + \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}}, \text{ от}$$

където

$$Y = \frac{X}{C} - \frac{1}{C} \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}} - \frac{1}{C} \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}} =$$

$$= \frac{X}{C} + \frac{1}{C} \sqrt[3]{\frac{q}{2} - \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}} + \frac{1}{C} \sqrt[3]{\frac{q}{2} + \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}}.$$

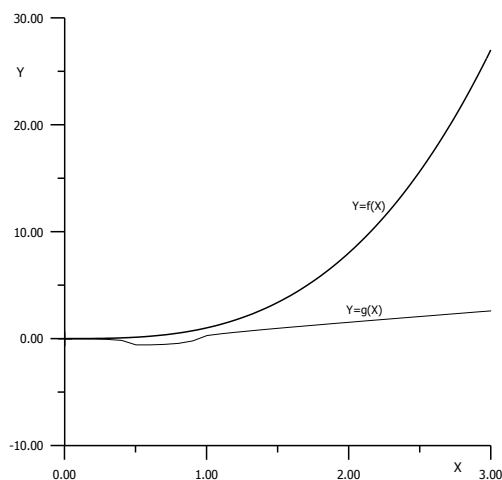
Като се заместят p и q с техните равни, окончателно се получава

$$Y = \frac{X}{C} + \frac{1}{C} \sqrt[3]{-\frac{X}{2CK} - \frac{1}{CK} \sqrt{\frac{X^2}{4} + \frac{1}{27CK}}} +$$

$$+ \frac{1}{C} \sqrt[3]{-\frac{X}{2CK} + \frac{1}{CK} \sqrt{\frac{X^2}{4} + \frac{1}{27CK}}}.$$

Понеже $C > 0$, $K > 0$, то $\Delta = \frac{X^2}{4} + \frac{1}{27CK} > 0$ и следователно уравнението има един реален и два имажинерни корена, т.е. ако се означат с A и B реалните стойности, съответно на $\sqrt[3]{-\frac{X}{2CK} - \frac{1}{CK} \sqrt{\frac{X^2}{4} + \frac{1}{27CK}}}$ и

$\sqrt[3]{-\frac{X}{2CK} + \frac{1}{CK} \sqrt{\frac{X^2}{4} + \frac{1}{27CK}}}$, то реалният корен на уравнението ще бъде $Y = \frac{1}{C} (X + A + B)$, което представлява търсената функционална зависимост.



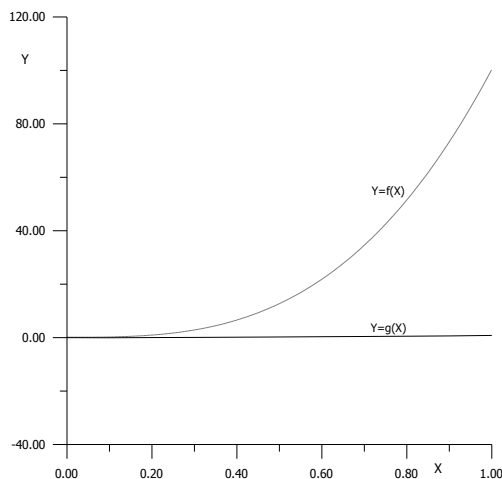
Фиг. 7.

$$f(X) = K \cdot X^3, \quad K = 1$$

$$g(X) = \frac{X}{C} + \frac{1}{C} \sqrt[3]{-\frac{X}{2.C.K} - \frac{1}{C.K} \sqrt{\frac{X^2}{4} + \frac{1}{27.C.K}}} +$$

$$+ \frac{1}{C} \sqrt[3]{-\frac{X}{2.C.K} + \frac{1}{C.K} \sqrt{\frac{X^2}{4} + \frac{1}{27.C.K}}}, \quad C = 1, K = 1$$

Вижда се от фиг. 7, че характеристиката на уредите със статично уравновесяване има ясно изразен участък, където Y намалява при нарастващо X . Това е при $K=1$. С увеличаване на K , този участък изчезва. Това е показано на фиг. 8.



Фиг. 8.

$$f(X) = K \cdot X^3, \quad K = 100$$

$$g(X) = \frac{X}{C} + \frac{1}{C} \sqrt[3]{-\frac{X}{2 \cdot C \cdot K} - \frac{1}{C \cdot K} \sqrt{\frac{X^2}{4} + \frac{1}{27 \cdot C \cdot K}}} + \frac{1}{C} \sqrt[3]{-\frac{X}{2 \cdot C \cdot K} + \frac{1}{C \cdot K} \sqrt{\frac{X^2}{4} + \frac{1}{27 \cdot C \cdot K}}}, \quad C = 1, K = 100$$

Увеличаването на линейността на характеристиката с нарастването на K се доказва и аналитично. За частният случай при $1 \ll K$, се получава следния израз

$$Y = K_i \dots K_n (K_1 \dots K_{i-1} \Delta X)^3 = K \cdot X^3 - KX^2CY + KXC^2Y^2 - KC^3Y^3$$

Прехвърляйки членовете съдържащи Y от ляво на равенството и приемайки, че $1 \ll K$, получаваме

$$(X - CY)^3 = 0, \quad \text{от където следва, че } Y = \frac{X}{C}, \quad \text{т.е.}$$

характеристиката на уреда остава линейна.

Изводи

В заключение може да се каже, че само в уредите работещи по метода на статическо уравновесяване, при определени условия се получава компенсиране на нелинейността на преобразувателите включени във

веригата за право предаване на сигнала. Това се вижда от получените графики. За другите две структури нелинейността може да се компенсира по други методи. Напоследък се използва най-вече програмно линеаризиране.

Получените аналитични изрази показват, че в случаите, когато във веригата за право предаване на сигнала, при уредите със статическо уравновесяване, е включен нелинеен преобразувател, то коефициента C (вж. израз (а)) има самостоятелно значение за линейността на уреда. Целесъобразно е това да се изследва.

Необходимо е също така да се изследва пропадането на преобразователната характеристика на уреда в началото на координатната система, когато е включен преобразувател, при който изходният сигнал зависи в трета степен от входния. Разбира се този случай има повече теоретично значение, тъй като такива преобразуватели се срещат рядко в практиката.

Литература

- Мейзда, Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерения, Москва, "Мир", 1990.
- Нейков, А.Н., Д.А.Самоковлийски, Ж.А.Ставракев. Лабораторни упражнения по автоматични измервателни уреди (аналогови). С., 1987.
- Нейков, А.Н., Ж.А.Ставракев. Семинарни упражнения по автоматични измервателни уреди – аналогови. С., 1991.
- Радулов, Г. Методи и средства за измерване и контрол. С., 1995.
- Радулов, Г. Изследване влиянието на нелинейността на преобразувателите при измерителните уреди със статическо уравновесяване. Предложена за печат, 2005.
- Орнатский, П.П. Автоматические измерения и приборы. Киев, "Вища школа", 1980.
- Ставракев, Ж.Ан. Автоматични измервателни уреди (аналогови). С., 1995.
- Ставракев, Ж., В. Туренков. Электрически измервателни преобразуватели, уреди и устройства. С., "Техника", 1984.
- Туричин, А.М., П.В.Новицкий, Е.С.Левшина и др. Электрические измерения неэлектрических величин. Ленинград, "Энергия", 1975.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Автоматизация на минното производство", МЕМФ

ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА НЕЛИНЕЙНОСТТА НА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИТЕ ПРИ ИЗМЕРИТЕЛНИТЕ УРЕДИ СЪС СТАТИЧЕСКО УРАВНОВЕСЯВАНЕ

Г. Радулов

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

РЕЗЮМЕ: В системите за автоматично регулиране се изисква линейна зависимост между измерваната величина и изходния сигнал на измерителния уред. Грешката от нелинейност оказва влияние върху точността на цялата система. Това налага строги изисквания към линейността на характеристиките на измервателните уреди от системите за автоматично управление. В представената работа се изследва влиянието на нелинейните преобразуватели използвани в уредите със статическо уравнивяване. Аналитично се доказва, че при този тип уреди нелинейността на отделните преобразуватели, включени във веригата за право предаване, оказва толкова по-слабо влияние върху линейността на характеристиката на уреда, колкото по-добре е изпълнено условието $1 \ll K.C$, където K е произведението от преобразователните коефициенти на преобразувателите във веригата за право предаване на сигнала, C е коефициентът на преобразуване на веригата за обратно предаване. При достатъчно големи стойности на произведението $K.C$, нелинейността на преобразувателите във веригата за право предаване практически не оказва влияние.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE NON-LINEARITY OF TRANSDUCERS IN THE MEASURING INSTRUMENTS WITH THE STATIC BALANCE

Georgy Radulov

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

ABSTRACT: In the systems for automatic control it is required linear dependence (relationship) between measuring quantity and output signal of the measuring instrument. The error from non-linearity influences over the whole system of control. This imposes strict requirements towards linearity of measuring instruments characteristics including from the systems for automatic control. The present paper investigates the influence of non-linear transducers used in measuring instruments with static balance. It is proved analytically, that in this type of instruments the non-linearity of different transducers, included in the chain (circuit) for direct transfer of signal, bring as influence over the linearity of characteristic of instrument as better the condition $1 \ll K.C$, is realized, where K is the product from transformation coefficient of transducers included in the chain (circuit) for direct transfer of signal (forward channel), C is the coefficient of transformation of transducers, included in the feedback channel. At high values of the product $K.C$, the non-linearity of transducers in the forward channel practically does not influence.

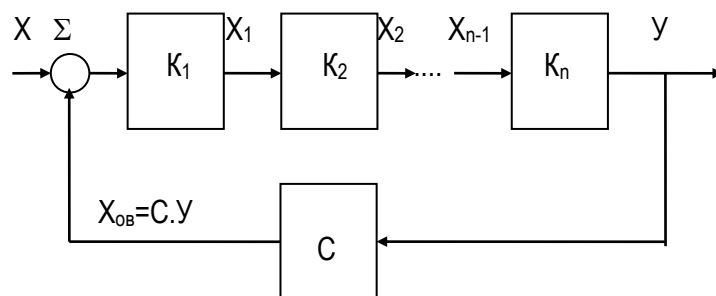
Въведение в проблема

Уредите със статическо уравнивяване намираха и намират много широко приложение. С навлизането на микропроцесорите в измерителната техника, те изземват някои техни предимства. Въпреки това, като сериозни техни предимства си остават намаленото (теоретично, при определени условия, нулево) влияние на мултипликативните смущения върху точността на измерване и възможността да усилват, с висока точност, маломощни напреженови и токови сигнали. А трябва да се подчертае, че при автоматизация на производствените процеси, често се налага измерване на такива сигнали, получавани от термодвойки, тензорезистори, йонизационни преобразуватели, пиезопреобразуватели, електрохимични преобразуватели (рН-преобразуватели) и др. Възможностите им да усилват слаби сигнали добре хармонира с използвания в системите за автоматизация унифициран токов сигнал (0-20 и 4-20 mA), който се получава именно с измерителни уреди работещи на принципа на статическото уравнивяване. Подчертаните, заедно с другите им предимства ги прави интересни и в бъдеще.

Този тип уреди са били обект на разглеждане от много автори (Туричин и др. 1975, Нейков, Ставракиев, 1991, Ставракиев, 1995, Орнатски, 1980. В някои от цитираните източници въпросът за влиянието на преобразувателите с нелинейна функция на преобразуването, включени във веригата за право предаване на сигнала, не е засегнат въобще. В други (Нейков, Ставракиев, 1991) се казва, "че грешката от нелинейност има условен характер и реално съществува при наличието на линейна скала". Казаното е вярно, когато се разглеждат показващи измерителни уреди. Но в системите за автоматично регулиране, където скала не е необходима, а се изисква линейна зависимост между измерваната величина и изходния сигнал на измерителния уред, грешката от нелинейност има съществено значение. Това е мотивът за да бъде разгледано влиянието на преобразувателите с нелинейна функция на преобразуването върху характеристиката на измерителните уреди със статическо уравнивяване.

Постановка на задачата

На фиг.1 е дадена структурната схема на уреди работещи по принципа на статическото уравнивяване.



Фиг.1

В общ вид зависимостта $Y = f(X)$, където X е входната, а Y – изходната величина, е дадена в цитираната литература Туричин и др., 1975, Ставракиев, Туренков, 1984, Радупов, 1995. Тя се извежда лесно като се изходи от преобразователната функция на отворената верига

$$Y = K_1.K_2...K_n. \Delta X = K_1.K_2...K_n.(X - X_{ov})$$

където X_{ov} е сигналът на обратна връзка равен на $X_{ov} = C.Y$, а C е предавателният коефициент на веригата за обратна връзка. С $K_1...K_n$ са означени коефициентите на преобразуване на преобразователите във веригата за право предаване на сигнала. Замествайки сигнала на обратна връзка в горния израз се получава

$$Y = (X - C.Y).K_1.K_2...K_n$$

и след преобразуване

$$Y = \frac{K_1.K_2...K_n}{1 + C.K_1.K_2...K_n} X$$

Така полученият израз не дава информация за влиянието на нелинейността на преобразователите във веригата за право предаване на сигнала върху характеристиката на измерителния уред.

В частният случай, когато е изпълнено условието $1 \ll C.K_1.K_2...K_n$ се получава

$$Y \approx \frac{X}{C}$$

От тук може да се извади заключение, че нелинейността на цитираните преобразователи, при изпълнено условие $1 \ll C.K_1.K_2...K_n$, не влияе върху линейността на измерителния уред, но остава съмнение, тъй като последният израз е получен при условие, че преобразователите са с линейни характеристики.

Аналитично изследване влиянието на нелинейността на преобразователите върху характеристиката на уреда

Да разгледаме случай когато един от преобразователите има нелинейна преобразователна характеристика от вида

$f=f(x^2)$. Нека това да е i -ят преобразовател. Тогава за X_i от веригата за право предаване може да се запише

$$X_i = K_i(K_1.K_2...K_{i-1}.\Delta X)^2 = K_i[K_1.K_2...K_{i-1}(X - C.Y)]^2$$

Да означим $K_1.K_2.K_3...K_{i-1}$ с K_a , тогава изходният сигнал ще бъде равен на

$$Y = K_i...K_n(K_a^2.X^2 - 2K_a.C.X.Y + C^2.Y^2),$$

нека означим $K_1...K_n$ с K_b , сега за изходния сигнал може да се запише

$$Y = K_a^2.K_b.\Delta X = K_a^2.K_b(X^2 - 2.C.X.Y + C^2.Y^2)$$

При полагане на $K_a^2.K_b = K$ и след разкриване на скобите и обработка на резултата се получава

$$Y^2 - \left(\frac{1 + 2K.C.X}{K.C^2} \right) Y - \frac{X^2}{C^2} = 0$$

или Y ще бъде равно на

$$Y = \frac{1 + 2K.C.X}{2K.C^2} \pm \sqrt{\left(\frac{1 + 2K.C.X}{2K.C^2} \right)^2 - \frac{X^2}{C^2}}$$

От така получения израз по-скоро може да се заключи, че характеристиката на уреда е нелинейна.

Ако е изпълнено условието $1 \ll 2K_{\Sigma 1}^2.K_{\Sigma 2}.C.X$ и след съкращения се получава

$$Y^2 - \frac{2X}{C} Y - \frac{X^2}{C^2} = 0$$

или

$$Y = \frac{X}{C} \pm \sqrt{\left(\frac{X}{C} \right)^2 - \left(\frac{X}{C} \right)^2} \text{ т.е. } Y = \frac{X}{C}$$

Вижда се, че при това условие характеристиката на измерителния уред остава линейна и когато един от преобразувателите, във веригата за право предаване, има нелинейна характеристика от вида $f=f(x^2)$.

Да разгледаме случая когато i -ят преобразувател има функция на преобразуването от вида $X_i=f(a.x+b.x^2)$, тогава сигналът след i -я преобразувател ще бъде

$$X_i = a \cdot \prod_{j=1}^{i-1} K_j \cdot \Delta X + b \left(\prod_{j=1}^{i-1} K_j \cdot \Delta X \right)^2$$

Като се положи $\prod_{j=1}^{i-1} K_j = K_{\Sigma 1}$, ще се получи

$$X_i = a \cdot K_{\Sigma 1} \Delta X + b K_{\Sigma 1}^2 \cdot \Delta X^2$$

а Y ще бъде равно на

$$Y = X_i \cdot \prod_{p=i+1}^n K_p \text{ полагаме } \prod_{p=i+1}^n K_p = K_{\Sigma 2}$$

Тогава

$$Y = K_{\Sigma 2} \cdot X_i = K_{\Sigma 2} (a \cdot K_{\Sigma 1} \Delta X + b K_{\Sigma 1}^2 \cdot \Delta X^2) \text{ и}$$

замествайки ΔX с $X - CY$ се получава

$$\begin{aligned} Y &= (a \cdot K_{\Sigma 1} \cdot K_{\Sigma 2} (X - CY) + \\ &+ b K_{\Sigma 1}^2 \cdot K_{\Sigma 2} \cdot (X - CY)^2 = a \cdot K_{\Sigma 1} \cdot K_{\Sigma 2} X - \\ &- a \cdot K_{\Sigma 1} \cdot K_{\Sigma 2} CY + b K_{\Sigma 1}^2 \cdot K_{\Sigma 2} X^2 - \\ &- 2b K_{\Sigma 1}^2 \cdot K_{\Sigma 2} \cdot XCY + b K_{\Sigma 1}^2 \cdot K_{\Sigma 2} \cdot C^2 Y^2 \end{aligned}$$

Полагаме $a \cdot K_{\Sigma 1} \cdot K_{\Sigma 2} = B$, а $b K_{\Sigma 1}^2 \cdot K_{\Sigma 2} = D$. Като заместим и прехвърлим всички членове от една страна на равенството получаваме

$$Y^2 - \left(\frac{1 + BC + 2DCX}{DC^2} \right) Y + \left(\frac{BX + DX^2}{DC^2} \right) = 0,$$

от където определяме Y

$$\begin{aligned} Y &= \frac{1 + BC + 2DCX}{2DC^2} \pm \\ &\pm \sqrt{\left(\frac{1 + BC + 2DCX}{2DC^2} \right)^2 - \frac{BX + DX^2}{DC^2}} \end{aligned}$$

Отново може да се каже, че характеристиката, в общия случай остава нелинейна.

В частния случай при приемане на условието, че $1 \ll BC + 2DCX$, се получава

$$\begin{aligned} Y &= \frac{BC + 2DCX}{2DC^2} \pm \\ &\pm \sqrt{\left(\frac{BC + 2DCX}{2DC^2} \right)^2 - \frac{BX + DX^2}{DC^2}} = \\ &= \frac{B}{2DC} + \frac{X}{C} \pm \frac{B}{2DC} \end{aligned}$$

Следователно за Y има две решения

$$Y_1 = \frac{X}{C} + \frac{a}{b \cdot K_{\Sigma 1} \cdot C}$$

$$Y_2 = \frac{X}{C}$$

На практика това означава, че се получат две характеристики, които са прави линии, с еднакъв наклон, отместени по оста Y , на разстояние $\frac{a}{b \cdot K_{\Sigma 1} \cdot C}$. Очевидно,

характеристиката, която не минава през началото на координатната система няма физически смисъл. Защото в противен случай това означава, че при нулев входен сигнал на изхода на уреда ще се получава сигнал равен на

$$Y = \frac{B}{DC} = \frac{a}{b K_{\Sigma 1} \cdot C}, \text{ което физически не може да се}$$

получи.

Целесъобразно е да се провери какво ще се получи ако нелинейността на един от преобразувателите е от висока степен. Нека един от преобразувателите – i -ят, да има функция на преобразуване от вида $X_i = f(X^3)$, тогава за изходния сигнал се получава

$$Y = K_i \dots K_n (K_1 \dots K_{i-1} \Delta X)^3.$$

Полагайки $K_b = K_i \dots K_n$ и $K_a = K_1 \dots K_{i-1}$, за Y ще се получи

$$Y = K_b \cdot K_a^3 \Delta X^3.$$

Замествайки ΔX с неговото равно се получава

$$\begin{aligned} Y &= K_b \cdot K_a^3 (X - CY)^3 = K_b \cdot K_a^3 X^3 - \\ &- 3K_b \cdot K_a^3 X^2 CY + K_b \cdot K_a^3 X C^2 Y^2 - K_b \cdot K_a^3 C^3 Y^3 \end{aligned}$$

Прехвърляйки членовете съдържащи Y от ляво на равенството и приемайки, че $1 \ll K_a \cdot K_b^3$, получаваме

$$\begin{aligned} K_b \cdot K_a^3 X^3 - 3K_b \cdot K_a^3 X^2 CY + K_b \cdot K_a^3 X C^2 Y^2 - \\ - K_b \cdot K_a^3 C^3 Y^3 = 0 \end{aligned}$$

или

$$(X - CY)^3 = 0, \text{ от където следва, че } Y = \frac{X}{C}, \text{ т.е.}$$

характеристиката на уреда остава линейна.

Аналогичен резултат се получава и в случая, когато нелинейният преобразувател има функция на преобразуването от вида $X_i = f(aX^2 + bX^3)$. Тогава

$$\begin{aligned} X_i &= aX_{i-1}^2 + bX_{i-1}^3 = \\ &= K_1^2 \dots K_{i-1}^2 a X_{i-1}^2 + K_1^3 \dots K_{i-1}^3 b X_{i-1}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Полагайки } K_1^2 \dots K_{i-1}^2 a K_{i+1} \dots K_n &= B \text{ и} \\ K_1^3 \dots K_{i-1}^3 b K_{i+1} \dots K_n &= D, \end{aligned}$$

след преобразуване се получава

$$\begin{aligned} Y &= B.X^2 - 2B.C.X.Y + B.C^2.Y^2 + D.X^3 - \\ &- 3D.C.X^2.Y + 3D.X.C^2.Y^2 - D.C^3.Y^3 \end{aligned}$$

Ако се приеме, че $1 \ll B$, се получава опростения израз

$$(X - CY)^2 + (X - CY)^3 = 0, \text{ от където също следва, че}$$

$$Y = \frac{X}{C}$$

По аналогичен начин може да се докаже, че този резултат ще се получи и при нелинейни функции на преобразувателите от по-висока от трета степен.

Ако обратният преобразувател е не линеен, то и характеристиката на целия уред е нелинейна. Нека обратният преобразувател да има функция на преобразуване от вида $X_{ог} = C.Y^2$, то Y ще бъде равно на

$$\begin{aligned} Y &= K_1 \dots K_n . \Delta X = K_1 \dots K_n (X - C.Y^2) = \\ &= K(X - C.Y^2) = K.X - KCY^2 \end{aligned}$$

От където

$$Y^2 - \frac{1}{K.C} - \frac{X}{C} = 0,$$

$$\text{или } Y = \frac{1}{K.C} \pm \sqrt{\left(-\frac{1}{K.C}\right)^2 + \frac{X}{C}} = a + \sqrt{a^2 + bX},$$

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Автоматизация на минното производство", МЕМФ

от където се вижда, че характеристиката на целия уред е нелинейна. Нелинейността се запазва и в случая когато $1 \ll C.K$. Тогава уравнението,

$$\begin{aligned} Y^2 - \frac{1}{K.C} - \frac{X}{C} &= 0 \text{ става } Y^2 - \frac{X}{C} = 0, \text{ от където} \\ Y &= \pm \sqrt{\frac{X}{C}}. \end{aligned}$$

Това може да се използва за линеаризирането на характеристиките на уреди, които включват нелинейни преобразуватели необхванати от веригата за обратната връзка.

Изводи

От направените изследвания се вижда, че при уредите със статическо уравновесяване, ако е изпълнено условието, произведението от коефициента на обратния преобразувател и коефициентите преобразувателите във веригата за право преобразуване на сигнала да е много по-голямо от 1, то линейността на характеристиката им се запазва независимо от наличието на нелинейни преобразуватели във веригата за право предаване.

Литература

- Нейков, А.Н., Д.А.Самоковлийски, Ж.А.Ставракев. Лабораторни упражнения по автоматични измервателни уреди (аналогови). С., 1987.
- Нейков, А.Н., Ж.А.Ставракев. Семинарни упражнения по автоматични измервателни уреди – аналогови. С., 1991.
- Радулов.Г. Методи и средства за измерване и контрол.С., 1995.
- Орнатский. П.П. Автоматические измерения и приборы. Киев, "Вища школа", 1980.
- Ставракев, Ж.Ан. Автоматични измервателни уреди (аналогови). С., 1995.
- Ставракев, Ж., В. Туренков. Электрически измервателни преобразуватели, уреди и устройства. С. , "Техника", 1984.
- Туричин, А.М., П.В.Новицкий, Е.С.Левшина и др. Электрические измерения неэлектрических величин. Ленинград, "Энергия", 1975.

AIR FLOW ASSESSMENT IN TYPICAL VENTILATION NETWORKS IN ROMANIAN COLLIERIES USING AUTOMATED VELOCITY TRANSDUCERS

Roland Moraru, Gabriel Babut

University of Petrosani, 332006 Petrosani, Romania

ABSTRACT. As it is known, a precise estimation of a mine ventilation system's efficiency highly depends on the accuracy of airflow measurements. The airflow and speed of air are also basic aerodynamic parameters to be considered when establishing the power required to carry out the ventilation process. The passing, from mean velocity measurements in a cross-sectional area of working, using hand - held anemometers, to point like measurements - with automatic devices - imposes to establish the demands providing a correspondence between the two types of measurements, at the same accuracy degree. Consequently, the aim of the present paper is to solve two objectives: establishing the distribution of velocity lines for different profiles and support types; determining a rational positioning point for velocity - monitoring transducers and values for the correction factors used in obtaining a mean velocity. Within this scope, detailed measurements were carried out in collieries from Valea Jiului coal basin. Some major conclusions were emphasized, as a result of analyzing work made on the achieved data. The paper was a compulsory stage, and the results obtained were integrated in the action of automatically surveying of ventilation, in the collieries from Valea Jiului (Romania) coal basin.

ИЗМЕРВАНЕ НА ВЪЗДУШНИЯ ПОТОК В ТИПИЧНИ ВЕНТИЛАЦИОННИ МРЕЖИ В РУМЪНСКИТЕ КАМЕНОВЪГЛЕНИ МИНИ ЧРЕЗ ИЗПОЛЗВАНЕ НА АВТОМАТИЧНИ СКОРОСТНИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Роланд Морару, Габриел Бабут

Петрошански Университет, 332006, Петрошани, Румъния

РЕЗЮМЕ. Както е известно, точната оценка на ефикасността на вентилационните системи в мините зависи от точното измерване на въздушния поток. Въздушния поток и скоростта на въздуха са основни аеродинамични параметри, които трябва да се имат предвид при определянето на мощността на вентилационната система. Преминването от измерване на скоростта в напречни райони чрез ръчни анемометри към измервания с автоматични приспособления налага установяването на съвместимост между двата метода и една и съща точност. Целта на настоящото изследване е решаването на два проблема: установяване на разпределението на скоростните линии при различните профили и поддържащи типове; определяне на рационална точка за скорост – мониторингови трансформатори и оценяване на точността на факторите, използвани при определяне на получената скорост. Направени са основни измервания в възглищния басейн на каменовъглена мина Валеа Джулиу. Като резултат от направения анализ са обосновани някои основни заключения. Изследването има задължителен характер и установените резултати са обстойно прегледани във вентилационната система на каменовъглената мина Валеа Джулиу (Румъния).

Introduction

As the airflows cannot be directly measured it is needed to measure their physical effects induced by air displacement or - when tracer gas techniques are applied - resorting to chemical analyses.

The most common device for underground measurements is the anemometer. As air velocity is considerably altered in the cross-sectional area of any mine working, hand-held anemometer based measurements has to be performed in such a manner which covers the whole area, allowing the determination of mean air velocity.

The passing from mean velocity measurements in a cross-sectional area of mine working, using hand - held anemometers, to pointlike measurements - with automatic transducers - impose to establish the correspondence between these two measuring techniques, at same accuracy degree.

Consequently, the research was directed to solve the following main issues:

- assessment of velocity distribution patterns for different mine working profiles and support types;
- determination of a rational positioning point for velocity monitoring transducers and correction factor values employed in order to obtain the mean velocity values.

Assessment of air velocity distribution patterns in different mine workings

Measurements were carried out, using four different methods - based on hand-held anemometers - in 43 mine workings from Dâlja, Petrila, Aninoasa and Livezeni collieries, in view of establishing the air velocity distribution patterns in:

- intakes and returns;
- mine workings traversed by a wide range of air flow quantities;

– mine workings with high and low levels of technological operations.

The results obtained revealed the following findings:

- the mean velocity values determined through all the employed methods were considerably close, airflows being steady enough during a two hours period and affected only by minimal errors;
- the ratio between the mean velocity V_m and the maximum velocity V_M has ranged from 0,65 to 0,93, values which proves the unsymmetrical character of velocity profiles; this finding indicates that profiles can be unequally developed and the maximum velocities area is not necessarily placed in the mine working's center;
- at air velocities higher than 0,5 m/s, the average value of measured velocities in the upper third of the mine working is closely equal to the mean velocity in the entire section.

On measurement basis, velocity profile types were graphically represented for TH metal-arch supported and masonry and concrete lined workings (see figures 1 and 2). The majority of the obtained profiles are parabolic ones, regular or irregular.

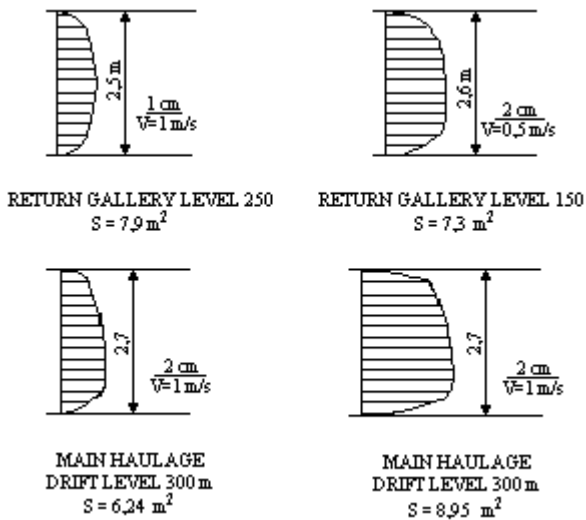


Fig. 1. Air velocity profiles in TH – arch supported mine workings, Petrita Colliery

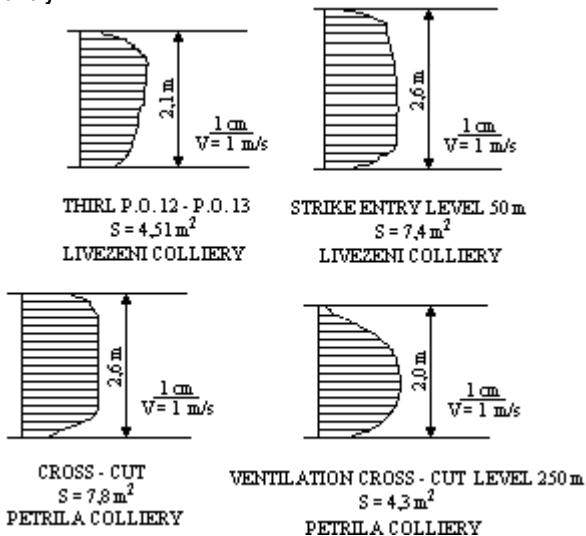


Fig. 2. Air velocity profiles in concrete supported mine workings, Livezeni and Petrita Collieries

Specific to intake workings are the profiles developed at the working's bottom and flattened at the top, as a consequence of temperature differences.

Assessment of velocity transducer rational positioning and correction factors to obtain the mean air velocity

For the flow in circular ducts, where Reynolds number $Re=10^5$, the velocity profile is entirely turbulently developed, the ratio between mean and central (maximum) velocities being:

$$\frac{V_{mean}}{V_{max}} = 0,83 \quad (1)$$

High rates of mean velocity increases or decreases do not change this ratio significantly (more than 5 percent). Therefore, it is assumed that knowing this ratio would allow direct mean velocity assessment, but only if measurement can practically be done in the central axis.

If measurement is carried out in any other point, it is required to assess another correlation factor, respectively a position factor FP, which multiplied by measured velocity value should give the mean velocity value:

$$V_{mean} = FP \cdot V_x \quad (2)$$

Hence, considering an "a" radius duct, having the maximum velocity V_M in the central axis, the symmetrical velocity profile can be obtained, based on the following function: $V_x = f(x, V_M)$, where $0 < x < a$.

Mean air velocity is given by:

$$V_{mean} = \frac{2}{a^2} \cdot \int_0^a x \cdot f(x, V_M) \cdot dx \quad (3)$$

and

$$FP = \frac{V_{mean}}{V_x} \quad (4)$$

Determining the ratio between mean velocity and velocities of various points placed on symmetrical profile curves, for 3 specific functions (circular, parabolic and irregular), the dependence position factor FP versus x/a ratio was obtained (see figure 3).

It can be seen from the diagram that for all the four profiles, a ratio $x/a=0,6$ exists for which $FP=1$. It follows that measurement should not be necessarily done in the maximum velocity point, but in another one, and multiplying the measured value with a position factor the mean velocity will be obtained.

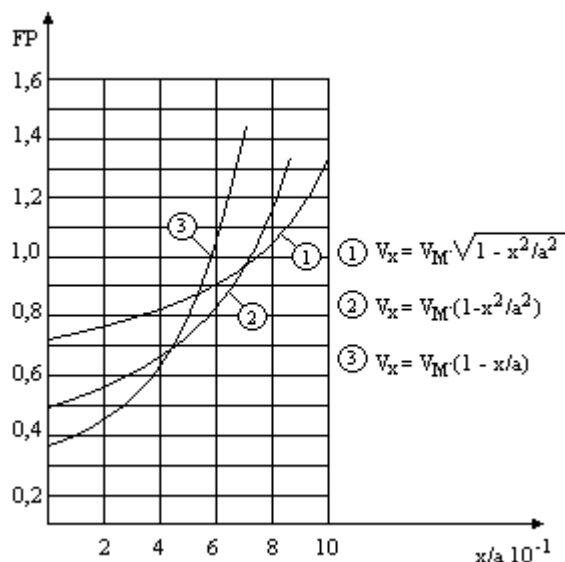


Fig. 3. Air velocity profiles (1 – circular profile; 2 – parabolic profile; 3 – irregular profile)

For "a" radius circular ducts, measuring in a point $x/a=0,6$ gives directly the mean velocity, while FP equals the unit.

Similarly was approached the case of mine workings, but giving consideration to the unsymmetrical pattern of velocity profiles and to the need of placing the transducers in a way which could not affect them by the technological operations.

Consequently, as a function of the real unsymmetrical velocity profiles obtained, the correlation between the correction factor (denominated by position factor FP) and pointlike velocities measured in the upper third of the cross-sectional area of mine workings was assessed.

These correlations were established for TH - arch supported (figure 4) and concrete supported mine workings (figure 5), considering that the V_{mean}/V_x ratio approximates the unit in points placed in the upper third of the mine workings. This area allows an easier placement and safer operation from the technological point of view.

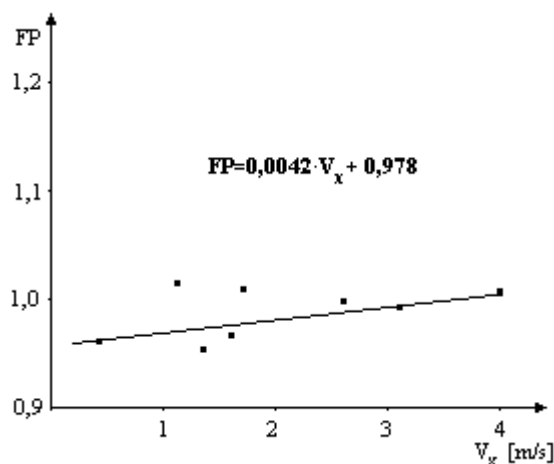


Fig. 4. The correlation between the position factor FP and pointlike velocities established for TH - arch supported mine workings

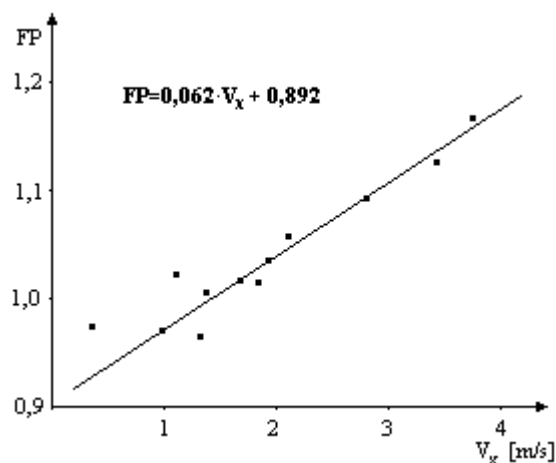


Fig. 5. The correlation between the position factor FP and pointlike velocities established for concrete supported mine workings

Measurements were carried out in two workings at Aninoasa Colliery, in the range of 0,6-1,8 m/s velocities (Priboi Station) and 4-6 m/s (Piscu Station) using the ATM-689 automatic velocity transducers connected to the central telemetry mine system.

A linear relationship was obtained between the position factor FP and the air velocity for both measuring stations (see figures 6 and 7), and $FP=1$ was found stable, with maximal variations from -3 % to +7 %, when the transducer was centrally located at $h/6$ distance from the working's top.

b. The computation of air quantities in workings not provided with transducers, based on Khirchhoff's first law ($3Q_i=0$).

If we consider a mine ventilation network with "m" branches and "n" junctions, the total number of necessary transducers is given by the number of independent meshes:

$$\gamma = m - n + 1 \quad (5)$$

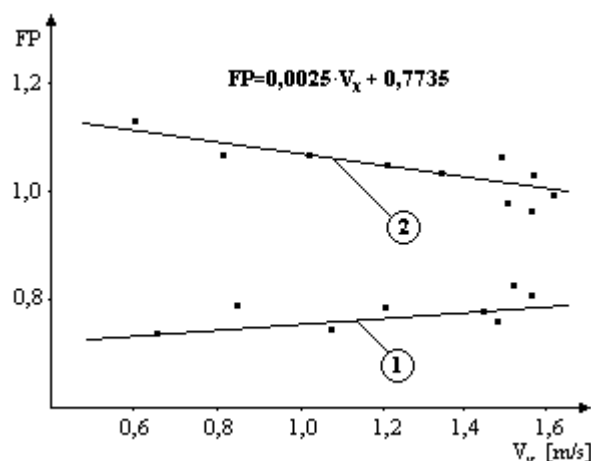


Fig. 6. The correlation between the position factor FP and the air velocity for both measuring stations (1 - placement at $h/6$ from the entry top and wall; 2 - central placement at $h/6$ from the entry top)

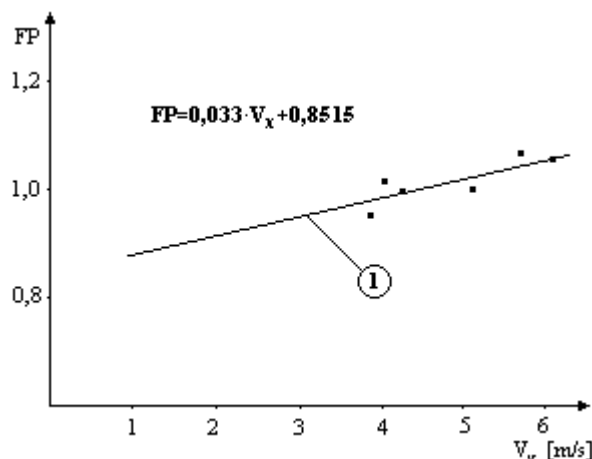


Fig. 7 The correlation between the position factor FP and the air velocity for both measuring stations (1 – central placement at $h/6$ from the entry top)

As an example, Livezeni colliery having a ventilation network with 73 branches and 43 junctions would necessitate at least 33 transducers ($73-41+1$). This number can be diminished by eliminating the branches with less than 100 m³/min. air quantities.

In workings ventilated by means of auxiliary systems, transducers will be placed at $h/6$ from the working's top, or at the auxiliary ventilation duct's end.

Conclusions

The results of experimental research regarding the feature of converting pointlike air velocities into mean velocities, allowed to emphasise the following conclusions:

- in any subsurface mine working, the mean velocity being greater than 0,013 m/s and Reynolds number greater than 2500, the flow occurs in turbulent conditions, excepting areas just nearby the walls, where it is laminar;

- air flow in circular ducts for Reynolds number $Re=10^5$ is turbulent and velocity profile is symmetrical and entirely developed,

- the ratio between mean and maximum the velocity being 0,83;

- results of the measurements carried out at Dâlja, Livezeni, Petrila and Aninoasa collieries and in an experimental aerodynamic tunnel revealed that air velocity profiles are parabolic, regular or irregular; in TH - arch supported and concrete or masonry supported mine workings, the unsymmetrical velocity profiles are developed either in the upper or the lower half of the workings, the ratio between mean and maximum velocities varying in a wide range (0,65 – 0,93);

- for velocities higher than 0,5 m/s the average value of measured velocities in the upper third is approximately equal to the mean velocity;

- the established correlation between the position factor FP and the pointlike measured velocities in the upper third ($h/6$ from the working's top) allows the determination of mean air velocity;

- actually verifications of the rational transducer placement point, carried out in Aninoasa colliery with ATM - 689 transducer spotlighted a close to unit value of FP, with a deviation range from -3 % to + 7 %.

- the minimum number of branches equipped with air velocity automated monitoring devices, is given by the number of independent meshes contained within the network ($\gamma=m-n+1$). As an example, for Lupeni colliery it was determined that complete control of air flows could be achieved by using only 33 transducers.

References

- Matei, I. et al. 2000. *Ingineria mediului și ventilația în subteran*. Editura Tehnica, București.
- McPherson, M.J. 1993. *Subsurface ventilation and environmental engineering*. Springer Publishing House, London, UK.

Recommended for publication by Editorial board of
Section "Mechanization, Electrification and Automation in Mine"