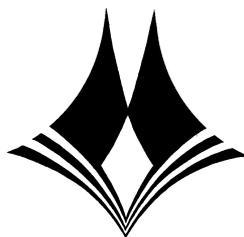


ГОДИШНИК
НА
МИННО-ГЕОЛОЖКИЯ УНИВЕРСИТЕТ
“СВ. ИВАН РИЛСКИ” - СОФИЯ
Том **52**

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

ANNUAL
OF
UNIVERSITY OF MINING AND GEOLOGY
“ST. IVAN RILSKI” – SOFIA
Volume **52**

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



Издателска къща “Св. Иван Рилски”
Publishing House “St. Ivan Rilski”
София, 2009
Sofia, 2009

ISSN 1312-1820

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

доц. д-р Венцислав Иванов - главен редактор
доц. д-р Страшимир Страшимиров - зам. главен редактор
доц. д-р Руслан И. Костов - председател на редакционен съвет
проф. д-р Кръстю Дерменджиев - председател на редакционен съвет
доц. д-р Вяра Пожидаева - председател на редакционен съвет
доц. д-р Десислава Костова - председател на редакционен съвет
гл. ас. Теодора Христова – секретар

РЕДАКЦИОНЕН СЪВЕТ

Свитък III - Механизация, електрификация и автоматизация на мините

доц. д-р Вяра Пожидаева – председател
проф. д-р Георги Фетваджиев
доц. д-р Здравко Илиев
доц. д-р Евтим Кърцелин
доц. д-р Ангел Зъбчев
доц. д-р Петко Лалов
доц. д-р Цветан Дамянов

СЪДЪРЖАНИЕ

Рустам Акметшин Марс Мигранов	ТЕМПЕРАТУРНИ ПОТОЦИ ПРИ ИЗПОЛЗВАНЕ НА РЕЖЕЩ ИНСТРУМЕНТ С ИЗНОСОУСТОЙЧИВО ПОКРИТИЕ	7
Марс Мигранов Льова Шустер	ИЗНОСОУСТОЙЧИВОСТ НА МОДИФИЦИРАНАТА ПОВЪРХНОСТ НА РЕЖЕЩИЯ ИНСТРУМЕНТ	11
Игор Миков Татяна Теплова Нели Стефанова	ФИЗИЧЕСКИ И ТЕХНОЛОГИЧНИ ПРИНЦИПИ ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА НАНОМЕТРИЧЕН РЕЛЕФ НА ПОВЪРХНОСТТА ПРИ ОБРАБОТКАТА НА ТВЪРДИ КРЕХКИ МАТЕРИАЛИ	15
Игор Миков Олег Гридин Олга Силченко Нели Стефанова Ирина Кривченкова	ОБРАБОТКА НА СВРЪХТВЪРДИ И КРЕХКИ МАТЕРИАЛИ В РЕЖИМ НА ПЛАСТИЧНО ДЕФОРМИРАНЕ НА МАТЕРИАЛА ПО МЕТОДА НА РАЗМЕРНОТО МИКРОШЛИФОВАНЕ НА МАШИНИ С ЦИФРОВО-ПРОГРАМНО УПРАВЛЕНИЕ	19
Гоце Стефанов Ристо Дамбов	ОСНОВНИ ПРИНЦИПИ НА РАБОТА НА ВИСОКОЧЕСТОТНИТЕ ИНДУКЦИОННИ НАГРЕВАТЕЛИ	23
Хайнек Пречек Зденек Фолта Зденек Йонста Мирослав Твърди	ДЪЛГОТРАЙНОСТ НА ЗАВАРЕНИ ТРИЕЩИ СЕ ДИСКОВЕ ТИП 4K4016 ПРОИЗВЕДЕНИ В РЕПУБЛИКА ЧЕХИЯ	29
Яна Кодимова	ОЦЕНКА НА ЖИЗНЕНИЯ ЦИКЪЛ НА СТОМАНЕНИ КОНСТРУКЦИИ В ЧЕШКАТА РЕПУБЛИКА	31
Йосиф Димитреску Адриана Замора	ПРИСПОСОБЯВАНЕ НА СИСТЕМАТА ЗА НАПРЕДВАНЕ НА УНИВЕРСАЛНА ПОДКОПНА МАШИНА KS-3M, ЗА СЪВМЕСТНА РАБОТА С ТРАНСПОРТЪОР РИБНИК 295-842	37
Илия Йочев	ОТНОСНО ХИДРОАБРАЗИВНОТО ИЗНОСВАНЕ НА ЕЛЕМЕНТИ ОТ МЕХАНИЗАЦИЯТА ЗА ХИДРОТРАНСПОРТ НА ОТПАДЪЧЕН ПУЛП ОТ ОБОГАТИТЕЛНИТЕ ФАБРИКИ	43
Цветан Дамянов	КОМПЮТЪРНА ПРОГРАМА ЗА ТЯГОВИ ИЗЧИСЛЕНИЯ НА МНОГОБАРАБАННИ ЛЕНТОВИ ТРАНСПОРТЪОРИ С КРАЙНИ И МЕЖДИННИ ТОЧКИ НА ТОВАРЕНЕ	49
Цветан Дамянов Николай Дичев	СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА АНАЛИТИЧНИТЕ И CAD-CAE МЕТОДИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА КОНТАКТНИТЕ НАПРЕЖЕНИЯ В САЧМЕНИТЕ ТЪРКАЛЯЩИ ЛАГЕРИ, ИЗПОЛЗВАНИ ПРИ МИННИТЕ РОТОРНИ БАГЕРИ	55
Христо Шейретов	ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА РАЗЛИЧНИ ФАКТОРИ ВЪРХУ УСТОЙЧИВОСТТА НА КУЛА КРАН	59
Христо Шейретов	ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЧЕСТОТАТА НА ВЪРТЕНЕ И ДЪЛЖИНАТА НА СТРЕЛАТА ВЪРХУ ВРЕМЕТО ЗА ПУСКАНЕ НА МЕХАНИЗМА ЗА ВЪРТЕНЕ НА КУЛА КРАН	65
Стефан Пулев	ДИНАМИЧНО НАТОВАРВАНЕ НА ТРАНСМИСИЯТА НА АВТОМОБИЛА ПРИ ПРОМЕНЛИВИ ЪГЛИ НА ЧУПЕНЕ В КАРДАННИЯ СЪЕДИНИТЕЛ	69
Евтим Кърцелин	КОМПЛЕКСЕН МАТЕМАТИЧЕН МОДЕЛ НА РУДНИЧНА ПОДЕМНА УРЕДБА	73
Евтим Кърцелин Николай Минков	ИЗСЛЕДВАНЕ ФАКТОРИТЕ, ВЛИЯЕЩИ ВЪРХУ ЕЛЕКТРОЗАХРАНВАНЕТО НА ОСНОВНИТЕ ТОВАРАЧНИ МАШИНИ В РУДНИК „АСАРЕЛ”.	83
Евтим Кърцелин Румен Истилиянов Николай Минков Йоана Младенова	ОПРЕДЕЛЯНЕ ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА ИЗПОЛЗВАНИ МЕТОДИ ЗА РЕГУЛИРАНЕ ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТТА НА ЦЕНТРОБЕЖНИ ПОМПИ	87

Евтим Кърцелин Николай Минков Румен Исталианов Йоана Младенова	ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА НАПРЕЖЕНИЕТО ВЪРХУ ЗАГУБИТЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЕНЕРГИЯ В СИНХРОННИ ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ	91
Тодор Върбев Цанко Георгиев Иван Котов	ОТКАЗИ В ЕЛЕКТРОСНАБДИТЕЛНИТЕ СИСТЕМИ НА РУДНИК "ТРАЯНОВО - СЕВЕР"	95
Юлиан Заимов	СПЕКТРАЛЕН АНАЛИЗ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНО ИЗЛЪЧВАНЕ ОТ РАЗРЯДИ, ПОРОДЕНИ ОТ НАЕЛЕКТРИЗИРНИ ДИЕЛЕКТРИЦИ	99
Лъчезар Хрисчев Юлиан Заимов Костадин Заимов	АНТИСТАТИЧНИ И ИСКРОНЕОБРАЗУВАЩИ ПОДОВИ НАСТИЛКИ ЗА ПРОИЗВОДСТВЕНИ ПРОЦЕСИ В ПОТЕНЦИАЛНО ЕКСПЛОЗИВНА АТМОСФЕРА	103
Милен Дренков	ПАРАМЕТРИ НА ЗАЗЕМИТЕЛНИЯ КОНТУР ЗА ПОДВИЖНИ МИННИ МАШИНИ В IT СИСТЕМИ СЪДЪРЖАЩИ ВИШШИ ХАРМОНИЦИ В НАПРЕЖЕНИЕТО	109
Георги Велев	ФИЗИЧЕСКО МОДЕЛИРАНЕ И СТАТИСТИЧЕСКИ АНАЛИЗ НА ЕКСПЛОАТАЦИОННИТЕ ПАРАМЕТРИ НА ЗАЗЕМИТЕЛИ С ПРОВОДИМА БЕТОННА ОБМАЗКА ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ В МИННАТА ИНДУСТРИЯ	113
Снежана Стоянова Георги Тасев	СТРУКТУРА НА КАЧЕСТВОТО И НАДЕЖНОСТТА НА ПРОДУКЦИЯТА	119
Стефан Стефанов Теодора Христова Любомир Атанасов	ОТНОСИТЕЛНА ПЛЪТНОСТ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИЯ ТОК СЪЗДАДЕН ОТ ДВА РАЗНОПОЛЯРНИ ИЗТОЧНИКА НА ТОК (ЗАЗЕМИТЕЛИ) ВЪВ ФУНКЦИЯ ОТ РАЗСТОЯНИЕТО МЕЖДУ ТЯХ И ОТ ДЪЛБОЧИНАТА НА РАЗПРОСТРАНЕНИЕТО НА ТОКА В ЗЕМЯТА	123
Стефан Стефанов Теодора Христова Любомир Атанасов	ПОТЕНЦИАЛ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКОТО ПОЛЕ В ПРОИЗВОЛНА ТОЧКА В ЗЕМЯТА, СЪЗДАДЕН ОТ РАЗНОПОЛЯРНИ ЛИНЕЙНИ И ЛИНЕЕН И ТОЧКОВИДЕН ИЗТОЧНИЦИ НА ТОК	129
Константин Тричков	ЕЛЕМЕНТИ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНОТО ИЗЧИСЛЕНИЕ НА ВИХРОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛ С ВЪТРЕШЕН МАГНИТОПРОВОД	133
Ромео Александров Константин Тричков	ИЗСЛЕДВАНЕ НА СХЕМА С ПОВИШЕНО БЪРЗОДЕЙСТВИЕ ЗА ЕЛКТРОМАГНИТНА СЕПАРАЦИЯ С ИМПУЛСНО МАГНИТНО ПОЛЕ	137
Иван Стоилов Антон Трапов Здравко Илиев Диана Дечева Кирил Джустров	ИНФОРМАЦИОННО ИЗМЕРВАТЕЛНА СИСТЕМА ЗА КОНТРОЛ И ОПЕРАТИВНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЕЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕТО В МГУ "СВ. ИВАН РИЛСКИ"	141
Ясен Видолов	МЕТОДИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА БЪРЗОДЕЙСТВИЕТО ПРИ РЕАЛИЗАЦИЯ НА ИЗЧИСЛИТЕЛНИТЕ ПРОЦЕДУРИ В СПЕЦИАЛИЗИРАНИТЕ УСТРОЙСТВА ЗА ИЗМЕРВАНЕ И КОНТРОЛ	147
Мила Илиева	NANOCUBE.ORG – САЙТ ЗА НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОЕЛЕКТРОНИКА	151
Добрин Диков Васил Ангелов	ИЗХОДНИ ЗАВИСИМОСТИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НАДЕЖНОСТТА НА КОМУНИКАЦИОННА СИСТЕМА	155

CONTENTS

Rustam Akhmetshin Mars Migranov	THERMAL STREAMS AT USE OF A CUTTING TOOL WITH WEAR-PROOF COATING	7
Mars Migranov Leva Shuster	WEAR RESISTANCE OF THE MODIFIED SURFACE OF THE CUTTING TOOL	11
Igor Mikov Tatyana Teplova Neli Stefanova	PHYSICAL AND TECHNOLOGICAL PRINCIPLES FOR OBTAINING A NANOMETRIC RELIEF OF THE SURFACE AT THE PROCESSING OF HARD BRITTLE MATERIALS	15
Igor Mikov Oleg Gridin Olga Silchenko Neli Stefanova Irina Krivchenkova	PROCESSING OF SUPERHARD AND BRITTLE MATERIALS AND MONOCRYSTALS IN REGIME OF QUASI-PLASTIC DEFORMATION OF THE MATERIAL BY THE METHOD OF DIMENSIONAL MICROGRINDING ON CNC MACHINE	19
Goce Stefanov Risto Dambov	FUNDEMENTAL PRICIPES OF WORKING IN RESONANT CONVERTER FOR INDUCTION HEATING	23
Hynek Přeček Zdeněk Folta Zdeněk Jonšta Miroslav Tvrđý	THE LIFE OF WELDED FRICTION DISCS 4K4016 IN CZECH REPUBLIC	29
Jana Kodymová	LIFE-CYCLE ASSESSMENT OF STEEL CONSTRUCTIONS IN CZECH REPUBLIC	31
Iosif Dumitrescu Adriana Zamora	ADAPTATION OF THE ADVANCE SYSTEM FOR KS-3M SHEARER ADAPTED FOR 295-842 RYBNIK CONVEYER	37
Iliia lochev	ABOUT HYDROABRASIVE DETERIORATION OF ELEMENTS OF MECHANISATION OF SYSTEMS FOR HYDROTRANSPORT OF A WASTE OF CONCENTRATING FACTORIES	43
Tsvetan Damyanov	COMPUTER PROGRAM FOR CALCULATING THE DRIVING FORCE OF MULTI-DRUM BELT CONVEYERS WITH FINAL AND INTERIM POINTS OF LOADING	49
Tsvetan Damyanov Nikolay Dichev	COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ANALYTICAL AND CAD-CAE METHODS FOR DETERMINATION OF CONTACT STRESS IN THE ROLLING BEARING USED FOR ROTOR MINING EXCAVATORS	55
Hristo Sheiretov	STUDY OF THE INFLUENCE OF SEVERAL FACTORS ON THE STABILITY OF A TOWER CRANE	59
Hristo Sheiretov	INFLUENCE OF THE ROTATION SPEED AND THE BOOM LENGTH ON THE START TIME OF THE ROTATION MECHANISM OF A TOWER CRANE	65
Stefan Pulev	DYNAMIC LOADING OF THE VEHICLE'S TRANSMISSION UNDER THE CARDAN SHAFT'S ANGLE VARIATION	69
Evtim Kurtzelin	COMPREHENSIVE MATHEMATICAL MODEL OF THE MINE SHEAR SYSTEM	73
Evtim Kurtzelin Nikolai Minekov	STUDY THE FACTORS AFFECTING ON POWER SUPPLY OF THE MAIN LOADERS MACHINES IN "ASSAREL" MINE	83
Evtim Kurtzelin Roumen Istalianov Nikolai Minekov Ioana Mladenova	DETERMINATION OF THE POWER EFFICIENCY OF METHODS USED FOR ADJUSTMENT THE EFFICIENCY OF ROTARY PUMPS	87

Evtim Kurtzelin Nikolai Minekov Rumen Istalianov Ioana Mladenova	STUDY THE INFLUENCE OF THE VOLTAGE AT LOSS OF ELECTRICITY IN SYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS	99
TodorVarbev Tsanko Georgiev Ivan Kotov	FAILURE ANALYSIS OF THE POWER SUPPLY SYSTEMS IN OPEN-AIR MINE "TROJANOVO-NORTH"	95
Youlian Zaimov	SPECTRAL ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION FROM ELECTRICAL DISCHARGES, POSED FROM ELECTRICAL DISCHARGES OF ELECTRIFIED DIELECTRICS	99
Lachezar Hrishev Julian Zaimov Kostadin Zaimov	ANTISTATIC AND SPARK RESISTANT FLOORINGS FOR A PRODUCTION PROCESSES WITH POTENTIAL EXPLOSION ATMOSPHERE	103
Milen Drenkov	PARAMETERS OF GROUNDING CIRCUIT OF MOBILE MINING MACHINES IN IT SYSTEMS CONTAINING HIGHER HARMONICS IN VOLTAGE	109
Georgi Velev	PHYSICAL MODELING AND STATISTIC ANALYSIS REGARDING THE OPERATING PARAMETERS OF CONDUCTIVE CONCRETE ENCASED GROUNDING ELECTRODES FOR APPLICATION IN MINING INDUSTRY	113
Snejana Stoyanova Georgi Tasev	STRUCTURE OF QUALITY AND DEPENDABILITY OF PRODUCTION	119
Stefan Stefanov Teodora Hristova Lubomir Atanasov	RELATIVE DENSITY OF ELECTRICAL CURRENT Q GENERATED BY TWO HETERO-POLAR ELECTRTICAL SOURCES (GROUNDED) AS A FUNCTION OF THE DISTANCE BETWEEN THEM AND OF THE DEPTH OF THE SPREADING OF THE CURRENT IN THE EARTH	123
Stefan Stefanov Teodora Hristova Lubomir Atanasov	POTENCIAL OF ELECTRICAL FIELD IN ODD POINT IN EARTH Q CREATED BY HETERO-POLER LINEAR SOURCES AND HETERO-POLED LINEAR POINT-FORM ELECTRICAL SOURCES	129
Konstantin Trichkov	ELEMENTS OF THE ELECTROMAGNETIC CALCULATION OF A VORTEX CONVERTER WITH AN INNER MAGNETIC CORE	133
Romeo Alexandrov Konstantin Trichkov	EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS ON THE MOVEMENT OF MAGNETIC MATERIAL IN TRAVELLING MAGNETIC FIELD	137
Ivan Stoilov Anton Trapov Zdravko Iliev Diana Detcheva Kiril Dzhustrov	INFORMATIONAL AND MEASURING SYSTEM FOR MONITORING AND OPERATIVE CONTROL OF THE ELECTRICITY CONSUMPTION IN UNIVERSITY OF MINING AND GEOLOGY ST. IVAN RILSKI	141
Jasen Vidolov	METHODS FOR INCREASED CALCULATION PERFORMANCE IN SYSTEMS FOR MEASUREMENT AND CONTROL	147
Mila Ilieva	NANOCUBE.ORG -WEBSITE FOR NANOTECHNOLOGY AND NANOELECTRONICS	151
Dobrin Dikov Vasil Angelov	INITIAL RELATIONS FOR DETERMINATION OF COMMUNICATION SYSTEM RELIABILITY	155

THERMAL STREAMS AT USE OF A CUTTING TOOL WITH WEAR-PROOF COATING

Rustam Akhmetshin, Mars Migranov

Ufa State Aviation Technical University, "St. K.Marks", 12 Ufa, Russian Federation, e-mail: ahmetshin@bk.ru

ABSTRACT. Productivity of metal cutting operations can be increased by means of processing speed increase. At that, a limiting factor is the decrease in wear resistance of the cutting tool. Software «DeForm3D» has been used for simulation of the cutting, which makes possible to vary in heat-physical parameters and tribological properties of a contact zone, simulating characteristics of wear-proof coatings on border "tool-detail". Such a parameter can be not only heat conductivity of the coating, but also entry conditions of a pre-contact zone (for example, friction factor) which in turn influences formation of sources of heat and their intensity. In order the influence degree of the specified factors on efficiency of process of cutting to be assessed, the following experimental researches have been carried on: Analysis of tribo-technical characteristics at various temperatures which is made on an adhesion measuring instrument at use spherical indenters from High-Speed Steel without a covering and with coverings (TiCr)N and (TiCr)N, and also indenters from High-Alloy Steel with coverings TiN, (TiCr)N, (TiAl)N, (AlTi)N, (TiAlCr)N, (AlTiCr)N. In quality of pair a friction special samples from a Constructional Steel with hardness 20 HRC are used. As a result of researches, the role of the arrangement of the various coating layers of the multilayered architecture, synthesized at use of thermochemical processes CVD is defined. It is revealed, that the greatest temperature of cutting corresponds to processing by the tool without a coating. The maximum decrease in intensity of thermal streams in system "tool-preparation" is provided with the coatings having multilayered architecture, and intensity of a thermal stream considerably depends on sequence of making layers of a multilayered coating.

ТЕМПЕРАТУРНИ ПОТОЦИ ПРИ ИЗПОЛЗВАНЕ НА РЕЖЕЩ ИНСТРУМЕНТ С ИЗНОСОУСТОЙЧИВО ПОКРИТИЕ

Rustam Akhmetshin, Mars Migranov

*Уфимски държавен авиационен технически университет, ул. „К. Маркс“ 12, Уфа, Руска федерация,
e-mail: ahmetshin@bk.ru*

РЕЗЮМЕ. Производителността на металорежещите операции може да се увеличава чрез увеличаване на скоростта при обработка. При това ограничаващ фактор е намаляването на износоустойчивостта на режещия инструмент. Софтуерът «DeForm3D» е използван за симулация на рязане, което позволява топлинно-физичните параметри и трибологичните свойства на контактната зона да бъдат изменени при симулацията на характеристиките на износоустойчивото покритие на границата инструмент-детайл. Такъв параметър може да бъде не само топлопроводимостта на покритието, но също и началните условия на доконтатната зона (например коефициентът на триене), които от своя страна определят източниците на топлина и тяхната интензивност. Анализът на трибо-техническите характеристики е направен за различни температури, като са използвани адхезионен измервателен уред и сферични индентори от бързорежеща стомана без покритие и с покрития от (TiCr)N и (TiCr)N, а също и от високолегирана стомана с покрития от TiN, (TiCr)N, (TiAl)N, (AlTi)N, (TiAlCr)N, (AlTiCr)N. Като двойка са използвани специални трибологични мостри от конструкционна стомана с твърдост 20 HRC. Като резултат от изследванията е определена ролята на подреждането на различните слоеве на покритието в многослойната структура, синтезирана чрез термохимичния CVD процес. Установено е, че най-високата температура при рязане съответства на обработка с инструмент без покритие. Максимално намаляване на интензивността на температурните потоци в системата „инструмент-подготовка“ се осигурява от покритие с многослойна структура и интензивността на температурния поток зависи значително от последователността на слоевете в многослойното покритие.

1. Introduction

Productivity of metal cutting operations can be increased by means of processing speed increase. Limiting factor thus is decrease in wear resistance of the cutting tool. Therefore it is important to understand the factors influencing destruction of a tool material to create such conditions at which the given factors influenced in the least image wear of the cutting tool [1, 2]. Most important of such factors are thermal influence on cutting tool and a thermal condition in the course of cutting [2, 3, 4].

Simulation of cutting process can essentially reduce terms of working out of technology in connection with manufacture preparation, especially at use of innovative tool materials [5]. There is a requirement for the mathematical models authentically describing the thermomechanical phenomena, accompanying cutting process, and allowing to predict

properties of materials cutting, and also wear resistance of the tool already at the stage of technological preparation of manufacture.

In the course of cutting practically all mechanical energy turns to thermal energy. Thus resistibility of the tool to wear process is in many respects defined by temperature conditions of cutting system. For pair the tool-detail irrespective of cutting modes exists optimum temperature of cutting, which corresponds to the minimum wear of the tool. It means, that if in the course of processing cutting temperature less optimum it is necessary to increase it. If temperature of cutting more optimum, it is necessary to create conditions of its decrease. Management in temperature of cutting and maintenance at the set level excludes the factor of negative influence of temperature on wear of the tool. Such management can be reached at the expense of regulation by thermal streams in system «the tool - preparation - a shaving - environment».

Coverings of the cutting tool, possess dual functions as can strongly enough change superficial characteristics of a tool material (frictional properties, heat conductivity, propensity of a tool material to physical and chemical interaction with a processed material etc.), and simultaneously influence contact processes. Thus, multifunctionality of the intermediate technological environment what the covering is, allows to predict possibility of the directed management in temperature of cutting [1, 6].

On the one hand the covering is capable to lower essentially friction factor in system "tool-preparation" and to reduce capacity of frictional sources of heat. On the other hand, the covering possesses shielding function and is capable to reduce essentially intensity of thermal streams in cutting wedge of the tool and to increase, thus, a temperature threshold of the beginning of adhesive interaction in system "preparation-tool" and to lower intensity of diffusion between them [6].

In the course of cutting under the influence of temperature there are structurally-phase transformations into blankets of the tool materials and preparation that means change of physico-mechanical properties of boundary layers of contacting surfaces. As a result conditions of formation of contact temperatures and maintenance of optimum temperature of cutting change. Therefore the important problem at designing of functional coverings for the cutting tool is forecasting of changing contact conditions.

Decision of the coverings creation problem taking into account the specified factor is application of multilayered architecture of a covering in which each layer will carry out strictly certain functions answering to certain conditions of tool functioning.

2. Technique of researches

Software «DeForm3D» were used for cutting simulation. Thus movements it is informed the rigid body simulating cutting tool, and to preparation it is put only forces, therefore the tool moves concerning preparation. Using reference processing it was set the basic conditions of cutting: processing modes, tool and preparation geometry, parameters of tool coverings etc. Preparation geometry set in the form of the cylinder with a diameter 120 mm. Cutting modes corresponded to following parameters: spindle rotation speed 1600 rpm, feed rate 0.11 mm/rev, cutting depth 0.7 mm. A material of tool substratum is High-Alloy Steel.

Applying computer simulation it is possible to vary in heat-physical parameters and tribological properties of a contact zone, simulating characteristics of wearproof coverings on border "tool-detail". As such parameter can be not only heat conductivity of the covering, but also entry conditions of a pre-contact zone (for example, friction factor) which in turn influence formation of sources of warmth and their intensity. On fig. 1 results of calculations in a software «DeForm 3D» are shown at use various wearproof coverings both on a chemical compound, and on a thickness of a layer.

For an estimation of influence degree specified above factors on efficiency of process of cutting following experimental researches are executed. The analysis of tribo-technical characteristics at various temperatures which made on an adhesion measuring instrument at use spherical indenters from

High-Speed Steel without a covering and with coverings (TiCr)N and (TiCr)N, and also indenters from High-Alloy Steel with coverings TiN, (TiCr)N, (TiAl)N, (AlTi)N, (TiAlCr)N, (AlTiCr)N. In quality of pair a friction special samples from a Constructional Steel with hardness 20 HRC used.

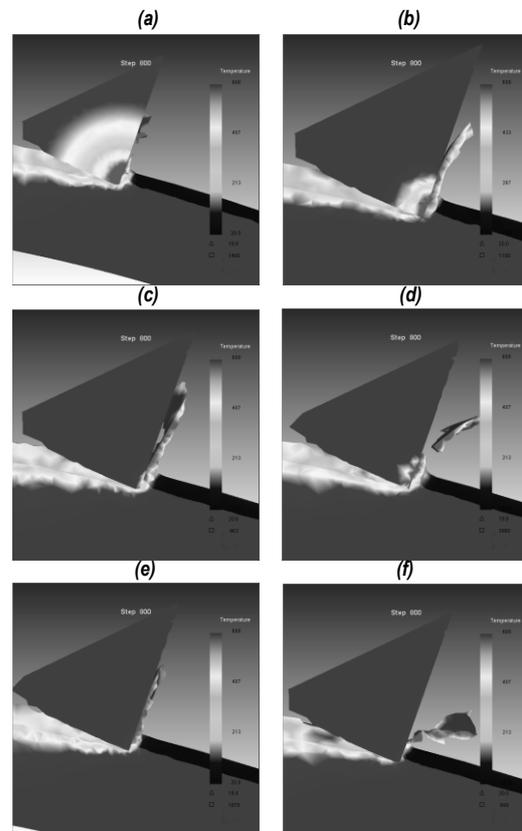


Fig. 1 Calculation of temperature fields at the cutting in the software «DeForm 3D»

- (a) - without a covering;
- (b) - TiN in the thickness 5 μm ;
- (c) - TiCN in the thickness 5 μm ;
- (d) - TiN in the thickness 5 μm and Al_2O_3 in the thickness 5 μm ;
- (e) - Al_2O_3 in the thickness 5 μm and TiCN in the thickness 5 μm and TiN in the thickness 5 μm ;
- (f) - Al_2O_3 in the thickness 5 μm and TiN in the thickness 5 μm .

3. RESULTS AND DISCUSSION

In experiments at milling and turning investigated wear of the tool on a back surface, temperature and force of cutting, a roughness of the processed surface. On fig.2 results both settlement, and experimental values of temperature of cutting for various conditions of processing by the tool with a covering at the turning are resulted. Cutting modes corresponded to following parameters: cutting speed 450 m/min, feed rate 0.11 mm/rev, cutting depth 0.5 mm.

Tests were conducted at milling on vertically-milling machine tool HECKERT of Constructional Steel and Stainless Steel by end mills ($d=12$ mm, $z=4$) and face mills ($d=90$ mm, $z=1$) with replaceable tetrahedral plates from High-Alloy Steel without coverings and High-Alloy Steel with covering TiN, (TiCr)N, (TiAl)N, (AlTi)N, (TiAlCr)N, (AlTiCr)N, having various percentage of each of elements with the general thickness to 15 μm . Milling modes: spindle rotation speed 500-900 rpm; feed 60-100 mm/min; cutting depth of 1-3 mm;

Coverings on tools have been received on the process equipment of the basic manufacturers of the tool with a covering («Balcers», «Sandvik Caromant», «Carbide», «Rimet») on factory technologies about use of processes CVD and PVD, and also with use of filtered.

The fig. 2 shows good enough coincidence of experimental and settlement data, and also the most effective role of coverings on the basis of system Ti-Al-N, received at use of filtering processes.

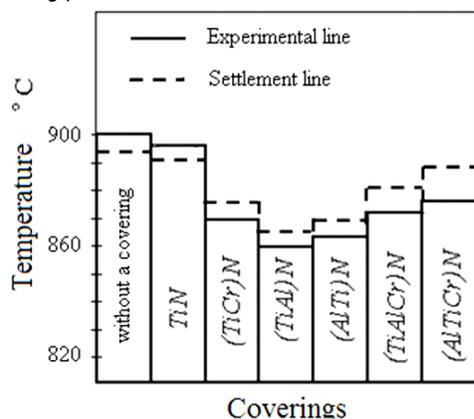


Fig. 2 Influence of a covering on cutting temperature at the turning

4. CONCLUSION

As a result of researches the role of an arrangement of various layers of coverings of the multilayered architecture synthesised at use of thermochemical processes CVD is defined. It has been revealed, that the greatest temperature of cutting corresponds to processing by the tool without a covering. The maximum decrease in intensity of thermal streams in system "tool-preparation" is provided with the coverings having multilayered architecture, and intensity of a thermal stream considerably depends on sequence of making layers of a multilayered covering. In particular more favorable

thermal condition of a cutting wedge of the tool the two-layer system of a covering provides a «substratum of alloy - Al_2O_3 (5 μm) - TiN (5 μm)» in comparison with two-layer system «an alloy-TiN substratum (5 μm) - Al_2O_3 (5 μm)».

The maximum improvement of a thermal condition of a cutting wedge of the High-Alloy tool three-layer system provides an «alloy substratum - Al_2O_3 (5 μm) - TiCN (5 μm) - TiN (5 μm)», that the combination of layers of a multilayered covering is caused favorable. In particular, at such covering the top layer TiN provides the maximum decrease in adhesive activity of a substrate in relation to a processed material. Transitive layer TiCN carries out strong adhesion between top TiN and bottom Al_2O_3 layers, and bottom layer Al_2O_3 effectively shields action of a thermal stream from a frictional source of heat on forward and back contacting surfaces of the tool.

REFERENCES

- Vereschaka, A.S., "Working capacity of the cutting tool with wearproof coverings," Moscow Mashinostroenie, 1993, 336.
- Loladze, T. N., "Durability and wear resistance of the cutting tool," Moscow Mashinostroenie, 1982, 320.
- Makarov, A.D., "Wear and wearproof of cutting tools," Moscow Mashinostroenie, 1982, 320.
- Reznikov A.N., "Heatphysics of the materials machining processes," Moscow Mashinostroenie, 1982, 320.
- Migranov, M.Sh., Akhmetshin R.I. and Lukaschuk U.V., "Research and simulation of heat-physical phenomena at the cutting process," Proc. International Tribology Conference 2005, Tula, 1, 1, 110-114.
- Vereschaka, A.S. and Vereschaka A.A.2007, "Increase of efficiency of the tool by management of structure, structure and properties of coverings," Strengthening Technologies and Coverings Journal , 9, 2005, 9-19.

*Recommended for publication
of Editorial board*

WEAR RESISTANCE OF THE MODIFIED SURFACE OF THE CUTTING TOOL

Mars Migranov, Leva Shuster

Ufa State Aviation Technical University, "St. K.Marks", 12 Ufa, migmars@mail.ru

ABSTRACT. A way to improve cutting tools is a new kind of multilayered coatings that combine wear resistance and antifriction properties to be developed. The objective of the present work is to study effects of antifrictional sublayer composition on the life of cutters with these engineered coatings and to finding scientific basis for developing multilayered coatings with programmable change of properties, providing each layer of the coating to fulfill a given function at a certain stage of wear. The 'triplex' multilayered coatings are studied. The coating was deposited using three units. Used as the base, the high-speed steel (HSS) was previously nitrided in the glow discharge. Then the tool surface was modified by ion doping prior to applying the hard coating. Finally, the modified layer was deposited with the (Ti, Cr)N coating by the PVD method. Researches show that the mixing of antifrictional alloys, that is widely used to improve conditions of sliding friction, allows to increase the tool life not more than two times. This way of the tool life increase, reduces the shear strength of adhesion bonds developed between the tool and the workpiece does not seem to be the most efficient one for the multilayered coating under analysis. For almost all studied antifrictional materials, the adhesion of the coating to the modified surface was rather low. This precludes their practical application due to technological reasons. Implanting the chemical elements makes possible better results to be obtained. Such elements as indium, silver and nitrogen enhance the tool life by 2 – 3 times under different cutting conditions (with and without cooling). The obtained results can be regarded as regular. Indium and silver are the least interactive ones with ferrum, and they can be used as metal lubricants. They promote a crushed chip forming at cutting using coating under the study. Ion modification of the tool surface with other studied elements exhibits unstable or negative effects, i.e. reduction of tool life and failure to provide high adhesion between the hard coating and the substrate.

ИЗНОСОУСТОЙЧИВОСТ НА МОДИФИЦИРАНАТА ПОВЪРХНОСТ НА РЕЖЕЩИЯ ИНСТРУМЕНТ

Марс Мигранов, Льова Шустер

*Уфимски държавен авиационен технически университет, ул. „К. Маркс“ 12, Уфа, Руска федерация,
e-mail: migmars@mail.ru*

РЕЗЮМЕ. Начин за подобряване на режещите инструменти е разработването на многослойни покрития, които комбинират износостойчивост и антифрикционни свойства. Цел на настоящата работа е изследването на влиянието на антифрикционния подслои върху експлоатационния срок на инструментите с такива покрития и да създаде научна основа за разработване на многослойни покрития с програмирана смяна на свойствата така, че всеки слой от покритието да изпълнява определена функция на даден етап на износването. Изследвани са „триплексовите“ многослойни покрития. Полагането на покритието се извършва на три етапа. Използваната за основа бързорежеща стомана (HSS) предварително се азотира с тлеещ разряд. След това, преди нанасянето на твърдото покритие, повърхността на инструмента се модифицира чрез добавяне на йони. Накрая, върху модифицираната повърхност по PVD метод се отлага (Ti, Cr)N покритието. Изследванията показват, че комбинирането на антифрикционни сплави, широко използвано за подобряване на условията на триене, позволяват удължаване на експлоатационния срок на инструмента с не повече от два пъти. Този начин на удължаване на експлоатационния срок намалява якостта на срязване на адхезионните връзки между инструмента и заготовката и не е най-ефективния при анализираното многослойно покритие. При почти всички изследвани антифрикционни материали, адхезията на покритието към модифицираната повърхност е доста малка, което практически прави приложението им невъзможно по технологични причини. Внедряването на химически елементи позволява постигането на по-добри резултати. Елементи като индий, сребро и азот удължават експлоатационния срок 2-3 пъти, при различни условия нарязане (с и без охлаждане). Получените резултати могат да се разглеждат като стабилни. Индият и среброто взаимодействат най-слабо с желязото и могат да бъдат използвани като метални лубриканти. Чрез използването на изследваните покрития, те спомогат за образуването на елементообразна стружка в процеса нарязане. Йонното модифициране на повърхността на инструмента с други елементи показва нестабилни или отрицателни резултати, т. е. намаляване на експлоатационния срок и невъзможност да се осигури адхезия между твърдото покритие и основния материал.

1. Introduction

One way to improve cutting tools is it to develop a new kind of multilayered coatings that combine wear resistance and antifriction properties (Such coatings appeared quite recently. The reason of keen interest in such coatings is well grounded. It is known that high wear resistance of hard coating tools is determined by their acting as a shield to contact surfaces of a tool, thus, protecting them from external effects at cutting. Mostly this happens during the stationary stage of wear (phase of normal wear). Yet the inevitable wear of a coating leads to the exposure of a base material whose frictional properties are considerably worse than those of a coating. Consequently, tool wear quickly enters its catastrophic stage. Prolongation the

stage of normal friction, however, is quite feasible. This is achieved by applying an additional sublayer in the multilayered coatings onto the surface of tool base. The layer can combine antifrictional properties and ability to generate the protective secondary structures at the coating substrate interface.

The objective of the present work is to study effects of antifrictional sublayer composition on the tool life of cutters with these engineered coatings and to finding scientific basis for developing multilayered coatings with programmable change of properties, providing to each layer of the coating fulfilling a given function at a certain stage of wear.

2. Experimental materials and techniques

In this work, we have studied 'triplex' multilayered coatings. The coating was deposited using three units. Used as the base, the high-speed steel (HSS) was previously nitrided in the glow discharge [1]. Then the tool surface was modified by ion doping prior to applying the hard coating. Finally, the modified layer was deposited with the (Ti, Cr)N coating by the PVD method.

Ion nitriding of the HSS substrate was produced in a special ion nitriding unit with combined heating. The technological parameters were as follows: glow discharge current density, 3 A/m²; time of nitriding, 0.5 h; gas pressure 266 Pa; gas composition, 25% N₂ + 75% H₂ (dissociated ammonia); temperature, 500°C.

Hard coating was deposited by the cathode arc plasma deposition process (CAPDP). Parameters of deposition were as follows: gas-reagent (nitrogen) pressure, 3·10⁻¹ Pa; arc current, 100 A; bias voltage, 200 V; focusing coil current, 0.2 A; deposition temperature, 500°C.

Before applying the PVD coating, the common set of the samples was implanted with ions of 16 various elements by using a high-energy ion implanter with energy of approximately 60 keV at the room temperature. Typical doses to be used were 4·10¹⁷ ions per cm². Prior to ion implantation of the studied elements surface etching by argon ions was performed. To minimize surface contamination, a cold trap was used during implantation to maintain a low background pressure of about 2·10⁻⁶ Torr. The base HSS was of M2 type (AIS) and it contained 0.8-0.88% C; 5.0-5.5% W; 5.0-5.5% Mo; 3.8-4.2% Cr; 1.7-2.1% V; Fe-balance, wt.%.

The atomic concentration of the implanted elements was analyzed by the X-ray microanalysis using the scanning electron microscope JSM-U3 equipped with a double crystal wave dispersive spectrometer. These concentrations were about 1.0-1.5 at.%.

Chemical composition of secondary phases emerging on the tool surface at cutting was studied by means of secondary ion mass spectroscopy (SIMS). This was carried out with the aid of an ESCALAB MK2 (VG) electron spectrometer equipped with an SQ300 ion analyzer of quadrupole type and AG-61 scanning ion gun, which allows the flow of argon primary ions with energy up to 5 keV to be focused on a spot up to 0.5 μm in diameter on the surface of a sample. Ion etching speed was in the order of 0.2 monolayer per min; the analysis was carried out in the static mode. We studied the average chemical composition of the wear zone of the coating out of the build-up.

The 16 chemical elements preselected for this work were applied for ion modification of the surface. The elements can be grouped as follows:

1. high oxidizing capacity elements creating dynamic stable protective surface films at friction, e.g. O, N, J and Cl;

2. nonmetals able to create compounds of high tribotechnical properties (B, C, Si) when interacting with base materials and environment elements;

3. metals including:

- 3.1 low-melting ones (in particular In, Mg, Sn, Ga) used as lubricants or antifriction materials;

- 3.2 Co-type metals with a hexagonal lattice and antifrictional properties [3, 4];

- 3.3 metals (Al, Cr) able to form oxide-like films, stable at cutting, with good antifrictional properties, and a low coefficient of thermal conductivity;

- 3.4 metals with a low coefficient of friction when in contact with principle machined materials (steel, nickel and titanium alloys), those are Ag and Cu.

Selecting metal materials, we took into account the well-known research on tribological compatibility of contacting elements. The chosen for analysis were elements least compatible in tribocouples with ferrum, nickel, and titanium, i.e. with metals found in the composition of low alloyed, heat-resistant and non-corrosive steels as well as titanium alloys widely used in machining. Moreover, the surface was subjected to mixing with four types of antifriction alloys often used to improve conditions of sliding friction, in particular the zinc-based alloy Zn + Al (9%) + Cu (2%); the copper-based alloy Cu + Pb (12%) + Sn (8%); the lead-based alloy Pb + Sn (1%) + Cu (3%); and the aluminum-based alloy Al + Sn (20%) + Cu (1%) + Si (0.5%).

Wear of coatings was studied while turning carbon steels containing 0.45% of carbon. The cutting speed being 270 m/min, cutting depth 0.5 mm, feed 0.28 mm/rev. Cutting was made both with and without a coolant. Impact of ion modification of the surface on tool durability was determined by comparing the cutting time for tools with proposed multilayered coatings (surface engineered coatings + ion modification) and for that with surface engineered coatings without additional ion modification. The durability coefficient of a tool was determined from the ratio of the time necessary for cutting to a specified wear value in a multilayered coating tool (surface engineered coatings ion modification) and that in a surface engineered coating tool ((Ti, Cr)N+ ion nitriding) whose durability coefficient was adopted as a unit. Not less than eight cutting tests were performed for each kind of surface modification (two tetragonal inserts were studied). The scatter the of tool life measurements was near 10%.

Friction coefficients were determined with the aid of a special design adhesionometer [2]. Inside the above-mentioned adhesionometer, a rotating sample with coatings under investigation was placed between two polished specimens made of low-alloyed steel containing 0.45% of carbon. To simulate tool friction conditions, the specimens were heated by the electrocontact method in the temperature range from 150 to 550°C. The standard force comprised 2400 N, this providing for plastic strain in the contact zone. To evaluate antifrictional properties of a layer, we used the adhesion component of the friction coefficient. This component is mainly responsible for HSS-tool catastrophic wear stage intensity (when the seizing phenomenon occurs). It was determined as the ratio of the shear strength induced by adhesion bonds between the tool and the work-piece to the normal contact stress developing on the contact surface at the test temperatures (T_{nn}/P_{nm}).

As it can be seen, ion modification of the cutting tool surface significantly affects the tool life. In our opinion, the increase in tool life is caused by a complex combination of numerous interacting factors. Here, belong the factors, which make it possible:

to form liquid and gaseous phases or low-melting eutectics which act as lubricants;

to develop amorphous oxygen-containing films with low coefficients of friction and thermal conductivity;

to reduce sticking of the tool surface to the processed material and, at the same time, to increase adhesion of the hard PVD-coating to the modified base.

3. Results and discussion

Data from Table 1 show that the mixing of antifrictional alloys, that is widely used to improve conditions of sliding friction [3], allows to increase the tool life not more than by two times. This way of the tool life increasing, reduce the shear strength of adhesion bonds developed between a tool and a workpiece does not seem to be the most efficient one for the multilayered coating under analysis. For the almost all studied antifrictional materials, the adhesion of the coating to the modified surface was rather low. This precludes their practical application due to technological reasons (possibility of coating peeling).

Implanting the chemical elements makes it possible to gain better results. Such elements as indium, silver and nitrogen enhance the tool life by 2 – 3 times (see Table 1) under different cutting conditions (with and without cooling). The obtained results can be regarded as regular. Indium and silver are the least interactive ones with ferrum, and they can be used as metal lubricants. They promote a crushed chip forming at cutting using coating under the study. Ion modification of the tool surface with other studied elements exhibits unstable or negative effects, i.e. reduction of tool life and failure to provide high adhesion between the hard coating and the substrate.

Table 1
Number tables in a consecutive order (10-p., italic)

№	Material (subgroups)	Element composition	Coefficient of PVD-coating adhesion to modified surface base	Durability coefficient at cutting	
				Without coolant	With coolant
Surface modified by ion implantation					
1.	Elements with high oxidation power	O	0.25	0.9	1.25
		N	0.41	2.0	1.83
		I	0.7-0.8	3.2	0.7
		Cl		1.8	
2.	Nonmetals	B	0.6	1.2	0.65
		C	0.6	1.7	0.83
		Si		0.7	0.6
3.	Metals				
a	Low-melting	In	0.6	2.4	2.1
		Mg	0.25	3.0	0.08
		Sn	0.6	0.8	0.7
		Ga		2.0	
b	With hexagonal lattice	Co	0.5	1.8	0.13
c	Forming stable oxides	Al	0.4	0.15	1.3
		Cr	0.6	0.2	1.2
d	With low coefficient of friction	Cu	0.55	1.0	2.5
		Ag	0.4	3.1	2.7

Surface modified by antifriction materials (mixing)					
4	Zn-Al-Cu 9-1.5 GOST 21437-75 (Russia)	Zn + Al (9%) + Cu (2%)	0.44	1.98	–
	Bronze 8-12	Cu+Pb (11%) + Sn (9%)	0.4	0.95	–
	Babbitt BK2 GOST 1320-74 (Russia)	Pb +Sn (1.5%)	0.35	0.6	–
	Al-Sn-Cu AO20-1 GOST 14113-69 (Russia)	Al + Sn (20%) + Cu (1%) + Si (0.5%)	0.3	0.4	–

From our point of view, the most preferable, with regard to the complex of properties, is coating with an implanted layer of In that does allow to increase the tool life up to the maximal one, independently being it with or without a coolant (Table 1). At the same time, adhesion between the coating and the base surface modified with indium is also sufficiently high, this attesting the reliability of the coating as a whole.

Examination of the temperature dependence of the friction coefficient for specimens with the modified surface demonstrated that In improves the frictional properties of HSS (Fig. 1). Acting as a lubricant, In mainly reduces the shear strength (τ_{nn}) of adhesion bonds developed in tribocouples.

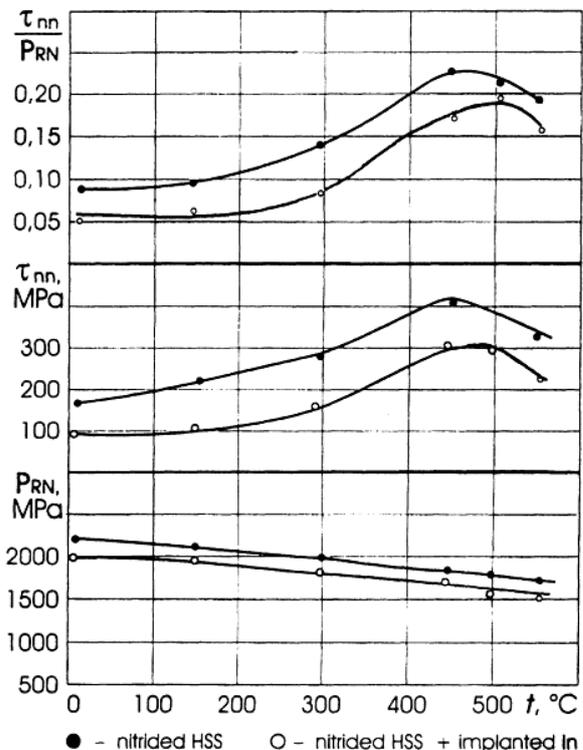


Fig. 1 Impact of test temperature on the frictional properties of the surface modified HSS

This, however, is insufficient to account for more than two-fold growth of tool life in cutters with the In-modified surface. As is shown by the mass-spectrometric analysis of the wear zone, the impact of In is more complicated. Apart from a metal

indium, the wear zone reveals the presence of the indium oxide, resulting from both In and In-N dissociated upon heating at friction.

Optimizing the technology of implantation and mixing, we possibly can augment the positive impact of ion modification on tool wear. We also can predict the advisability of combining the ion implantation and the PVD-processing within a unified technological cycle and single multipurpose equipment for application of coatings.

4. Conclusion

This work considered some ways improving the surface engineered coatings developed through double step hardening of the tool surface layer: by diffusion saturation with nitrogen (ion nitriding of HSS) and by applying a wear-resistant coating with complexly alloyed nitrides (Ti, Cr)N using the cathode arc plasma deposition process (CAPDP). The coating includes an additional modified sublayer applied while ion doping the surface of the high-speed steel previously nitrided in the glowing discharge. Such multilayered coating allows to significantly increase the tool life due to the increased stage of normal wear.

Investigated were effects on the HSS tool life of 16 chemical elements implanted into the base surface and those of four antifrictional materials. The optimal combination of high durability and reliability (characterized by a high adhesion of the coating to the base) is exhibited by the multilayered coating with an In-enriched sublayer. This element is present in the sublayer both in metal and bound (In-N) states.

*Recommended for publication
of Editorial board*

Positive effects of In implantation on tool life was explained by complex processes. Acting as a liquid metal lubricant at cutting temperatures, indium encourages reduction of the friction coefficient. Besides, when a cutting tool is heated under friction, the oxygen-containing phases are developed on wear surface, that protects the tool, delaying the transition from normal to avalanche-like wear. This allows to increase the stage of normal wear and considerably increases the tool life.

5. References

- Vereschaka, A.S., "Working capacity of the cutting tool with wearproof coverings," Moscow Mashinostroenie, 1993, 336.
- Loladze, T. N., "Durability and wear resistance of the cutting tool," Moscow Mashinostroenie, 1982, 320.
- Makarov, A.D., "Wear and wearproof of cutting tools," Moscow Mashinostroenie, 1982, 320.
- Michalski, E. Lunarska, T. Wierzchon, S. AlGhanem, Surf. Coat. Technol. 72 (1995) 189.
- B. Buecken, G. Leonhardt, R. Wilberg, K. Hoeck, H.-I. Spies, Surf.Coat. Technol. 68/69 (1994) 244.
- N.A. Bushe, Tribo-Engineering Materials, Practical Tribology, World Experience, Series International Engineering Encyclopedia, Vol. 1, Science & Technique Centre, 1994, pp. 21-29.
- E. Rabinowicz, in: M.P. .Peterson, W.Q Winner (Eds.), Wear Control Handbook, ASME, New York, 1980, p. 475.

PHYSICAL AND TECHNOLOGICAL PRINCIPLES FOR OBTAINING A NANOMETRIC RELIEF OF THE SURFACE AT THE PROCESSING OF HARD BRITTLE MATERIALS

Igor Mikov¹, Tatyana Teplova¹, Neli Stefanova²

¹Moscow State Mining University, Russia, e-mail: igmikov@yandex.ru; teplova_t@mail.ru

²University of Mining and Geology ST. IVAN RILSKI, Sofia, Bulgaria, e-mail: nlstefanova@gmail.com

ABSTRACT. Hard brittle materials, including the minerals diamond and leikosapphire are used in microelectronics for printed microcircuit substrates. The quasi-plastic grinding allows a surface of high quality with roughness 1 - 10 nm to be modeled without polishing. The acoustics oscillations generated of the blank at the processing could be used to control of the processing process and quality of the processed surface of the materials used in electronics.

ФИЗИЧЕСКИ И ТЕХНОЛОГИЧНИ ПРИНЦИПИ ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА НАНОМЕТРИЧЕН РЕЛЕФ НА ПОВЪРХНОСТТА ПРИ ОБРАБОТКАТА НА ТВЪРДИ КРЕХКИ МАТЕРИАЛИ

Igor Mikov¹, Tatyana Teplova¹, Neli Stefanova²

¹ Московски държавен минен университет, Русия, e-mail: igmikov@yandex.ru; teplova_t@mail.ru

² Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“ – София, България, e-mail: nlstefanova@gmail.com

РЕЗЮМЕ. Твърди крехки материали, включително диаманти и лейкосапфири се използват в микроелектрониката за производство на платки. Квазипластичното шлифоване позволява моделирането на повърхности от високо качество с грапавост 1-10nm, без полиране. Акустичните колебания, генерирани от заготовката при обработка, могат да бъдат използвани за контрол на процеса и качеството на обработената повърхност на материалите за електронната техника.

A traditional method for processing of hard brittle materials is mechanical grinding with free or connected abrasives. The roughness of the obtained surface after such a processing is about 200 nm and the subsurface layer is broken. In order lower roughness to be obtained (0,2 – 10 nm depending of the area of application of the microcircuit bases), the blank is usually polished in attacking medium, which is labor-consuming and unproductive.

An alternative and perspective method of the mechanical processing of hard crystal materials is the grinding in regime of quasi-plasticity (Теплова Т. Б., 2005). The quasi-plasticity has to be understood as revealing the plastic properties of the surface layer of the hard brittle materials at certain conditions of processing. The technology is based on the mechanical action on the surface subjected to processing at the tool feed of a part of the micron. A decrease in the brittle destruction has been observed at a decrease in the mechanical action intensity, in the surface layer (SL) of the hard materials.

Processing in a regime of quasi-plasticity can be obtained at provision of rigidity of the construction of the elastic processing system (EPS) and a relative isolation against external disturbances. As a result, the blanks from brittle materials could be mechanically processed in an adjustable regime to obtaining of processed surfaces with nanometric relief.

T. G. Bifano and T. A. Dow have made researches in the processing in the regime of quasi-plasticity on equipment PEGASUS (Bifano. T.G., Blake. P., Dow, T.A., and Scattergood, R.O., June.1988).

As a result of the researches carried on a big quantity of amorphous glasses, monocrystals and modern ceramic

materials by the authors has been formulated a hypothesis for the processing in regime of quasi-plasticity, which main point consists in the fact that if the feed is enough small, all the materials, regardless of their hardness and brittleness during the mechanical surface processing go through a transition of brittle to quasi-plastic destruction regime.

In order the task to be solved, the CNC machine module АН12f4 (Конъшин А.С., Сильченко О.Б., Сноу Б.Д., 27.04.2001 г) has been developed. It is with a sufficient rigidity at the cutting-in feeds providing grinding of the hard brittle materials in a regime of quasi-plasticity. The main technological parameters of the machine module are presented in Table 1. The machine module realizes a dynamic pulse action of the grains of the rotating tool on the surface of the crystal, subjected to processing, which is a result of the composition of two vectors: the vector of the compressive stress, determined by the potential compression energy and the vector of the tangential stress, determined by the kinetic energy.

The main point in the process of quasi-plastic destruction of the processing material surface layer could be explained by the physical mesomechanics developed by the academician V. E. Panin (Панин В.Е., 1998) of Russian Academy of Sciences. It relates the dislocations on a micro-scale level to the integral mechanical characteristics of the processes occurring on macro-scale level, taking into consideration the composition of the material, its texture and loading conditions. In the papers in mesomechanics it has been grounded that during the process of quasi-plastic destruction, on mesolevel the loaded material

forms structures able to realize quasi-plastic deformation “slip-turning”. A model of dimensions-adjustable and non-defect processing of hard texture materials by cutting is suggested on the basis of the theories of academician V. E. Panin and the papers by O. B. Silchenko (Коньшин А.С., Сильченко О.Б., Сюю Б.Д., 27.04.2001 г). The main point in the model is as follows. The deformed rigid body is a multilevel, self organizing system, in which the micro-, meso- and macro- levels are mutually related. At external action of a rhythmic field in the elastic processing system on micro-level occurs action of the cutting tool grain on a point of the processed surface. On mesolevel occurs swinging of the mesovolume steadily disturbing it slipping stability. The out-breaking of the surface section occurs on macro-level.

Table 1.

No	PARAMETER	QUANTITY
1	Number of the controllable axes	6
2	Number of the positions for mounting of the cutting tool and control and measuring means (revolving head)	3
3	Number of spindles	3
4	Digital set and realization of movement <ul style="list-style-type: none"> • Axes X, Y, μm; • Axis Z, μm; • Axes A, B, grad 	0.05 0.0001
5	Maximal value of movement <ul style="list-style-type: none"> • Linear axis X, mm; • Linear axis Y, mm; • Linear axis Z, mm; • Circular axis A, grad; • Circular axis B, grad; 	1000 300 10 90 unlimited
6	Range of working feed, mm/min	0.06 ÷ 4500
7	Range of the spindle rotating frequency, rpm	3000 ÷ 6000
8	Number of the places in the changeable cassette	15
9	Number of the simultaneously processed products	5
10	Roughness of the processed surface R_z , μm	0.032 ÷ 0.05
11	Diameter of the diamond tool, mm	250
12	Total power, kW	7

A regime of quasi-plastic surface processing of brittle materials could be provided by a special choice of such parameters as pressure force and speed of the tool movement in parallel to the surface of the crystal, subjected to mechanical action. At certain values of the contact stresses, in the surface layer appears a state of strain different of the energy needed for a brittle destruction. The regime of quasi-plastic destruction has to be in the range of energies exceeding the elastic energy corresponding to the limit of Payerls and to be less than the energy value corresponding to the stresses of brittle destruction. At the surface processing prevailing becomes not the brittle, but the quasi-plastic flow.

During the process of the surface grinding, the processing material heats and the thermal expansion value could become commensurable to the value of the tool feed, which can cause brittle destruction of the processing blank. Apart from that, thermal-elastic stresses appear in the material, which are

conducive to the defects distribution and to the possible material destruction. If the temperature distribution into the sample and dependence of the thermal expansion of the material of the processing blank on the temperature alteration are known, the integral thermal expansion of the sample could be determined, compared with the deformation of the elastic processing system and the pressing force could be adjusted so that the out-break with two free surfaces of the sample surface subjected to processing to be averted. This way, at consideration of the heat processes accompanying the processing in regime of quasi-plasticity is possible to be formulated thermal criteria dependencies determining the conditions under which the processing process will not turn from quasi-plastic cutting into a brittle destruction. In particular, the criterion of brittle thermal destruction characterizes the material resistance to brittle thermal failure. The stresses emerging during the material processing under the action of the normal component of the cutting force should not exceed the limit of the slip strength of the material, which mathematically could be expressed as follows:

$$\sigma_{process} = \frac{E \cdot \beta_0}{2 \cdot (1 - \mu)} \cdot \left[\Delta T + \frac{k \cdot \Delta T^2}{2} \right] < \tau_s \quad (1)$$

where $\sigma_{process}$ – stresses appearing during the process of the material processing as a result of the action of the normal and tangential component of the cutting force of the processing tool; τ_s – limit of the slip strength; μ – Poisson’s ratio; E – Yung’s modulus, Pa; $\Delta T = T - T_0$; T – temperature of the sample, $^{\circ}\text{K}$; T_0 – medium temperature, $^{\circ}\text{K}$; β_0 – coefficient of linear thermal expansion at 20°C . Here the dependence of the coefficient of linear thermal expansion on the temperature is taken into consideration. On first approximation $\beta = \beta_0(1 + k\Delta T)$, where k is the factor of proportionality, reflecting the alteration of the thermal-expansion coefficient of the material caused by the temperature.

At the surface processing of a material is necessary the operational regime to be chosen in such a way as the temperature in the processing area not to exceed the calculated value of the limit temperature. There are dependencies determining the allowable ranges of temperature alterations at processing in quasi-plasticity regime of different materials. It is possible processed surfaces with nano-metric roughness without macroscopic defects to be obtained if rational regimes of surface processing at quasi-plasticity regime are chosen.

Photos of processed surfaces of diamond and leikosapphire are presented in fig. 1. There could be seen the quality of the processed surface of a diamond sample (fig. 1a, $R_z = 8\text{nm}$) and leikosapphire (fig. 1b, $R_z = 2\text{nm}$ on separate surface areas) and $R_z = 20\text{nm}$ (fig. 1c). Fig. 1d and fig.1e show a grinded surface of a natural diamond with diamond inclusions in counter.

In order the processing in regime of quasi-plasticity to be realized, after obtaining a full contact of the blank and the grinding tool, the contact stresses have to be kept constant in the limits $(0.1 \div 10)10^5$, Pa depending on the properties of material (elasticity coefficient, Poisson’s ratio, coefficient of

thermal conductivity), conditions of heat abstraction, type of the machine and rigidity of the system "tool-blank".

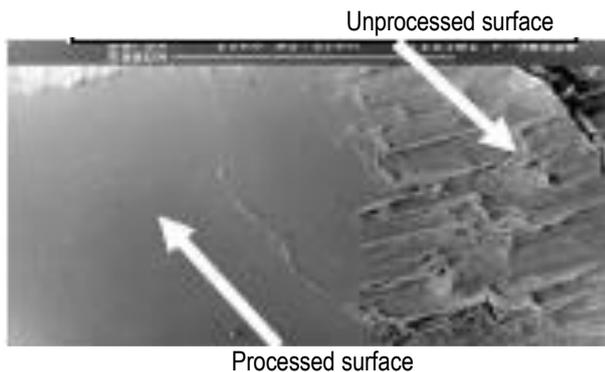


Fig. 1a



Fig. 1b



Fig. 1c

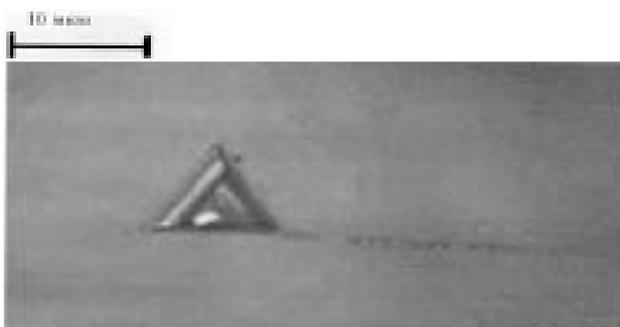


Fig. 1d

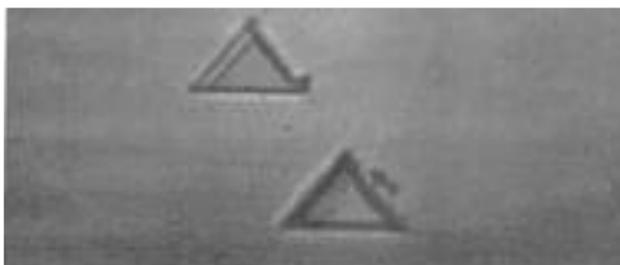


Fig. 1e

REFERENCES

Bifano. T.G., Blake. P., Dow, T.A., and Scattergood, R.O., "Precision Machining of Ceramic Materials" Proc. of the Intersociety Symposium on the Machining of Ceramic Materials and Components. R. E. Parks. K. Subramanian K Ball eds. Am Cer. Soc., ASME Abras. End. Soc. pp.99-120, April. 1987 (Up-dated and Reprinted in American Ceramic Society Bulletin, June.1988. Vol. 67, No.6. pp. 1038-1044.

Коньшин А.С., Сильченко О.Б., Сноу Б.Д. «Способ микрошлифования твёрдоструктурных материалов и устройство для его реализации». Патент РФ №2165837 от 27.04.2001 г.

Панин В.Е. Современные проблемы пластичности и прочности твердых тел. //Изв. Вузов. Физика 1998 т.41-№1. -С 7-34

Теплова Т. Б. Перспективы технологии размерно-регулируемого обработки твердых высокопрочных материалов, ГИАБ, 2005, №1. С. 90-94

*Recommended for publication
of Editorial board*

PROCESSING OF SUPERHARD AND BRITTLE MATERIALS AND MONOCRYSTALS IN REGIME OF QUASI-PLASTIC DEFORMATION OF THE MATERIAL BY THE METHOD OF DIMENSIONAL MICROGRINDING ON CNC MACHINE

Igor Mikov¹, Oleg Gridin¹, Olga Silchenko¹, Neli Stefanova², Irina Krivchenkova¹

¹*Moscow State Mining University, Russia, igmikov@yandex.ru*

²*University of Mining and Geology ST. IVAN RILSKI, Sofia, Bulgaria, nlstefanova@gmail.com*

ABSTRACT. By theoretical and experimental researches, it has been found out that in certain conditions at mechanical action the brittle hard materials show plastic properties. It becomes possible for the brittle materials to be processed in a way, at which the prevalent mechanism is not the destruction, but the plastic flow. The theoretical model of dimension-adjustable and non-defect processing of minerals with hard structure by cutting has been developed on the basis of the physical mesomechanics.

The physical mesomechanics of the materials is based on a new paradigm – the conception of the structural levels of the hard bodies' deformation. The regime of plastic surface processing of brittle minerals and materials could be provided at a special choice of processing parameters.

ОБРАБОТКА НА СВРЪХТВЪРДИ И КРЕХКИ МАТЕРИАЛИ В РЕЖИМ НА ПЛАСТИЧНО ДЕФОРМИРАНЕ НА МАТЕРИАЛА ПО МЕТОДА НА РАЗМЕРНОТО МИКРОШЛИФОВАНЕ НА МАШИНИ С ЦИФРОВО-ПРОГРАМНО УПРАВЛЕНИЕ

Игор Миков¹, Олег Гридин¹, Олга Силченко¹, Нели Стефанова², Ирина Кривченкова¹

¹*Московски държавен минен университет, Русия, igmikov@yandex.ru*

²*Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“ – София, България, nlstefanova@gmail.com*

РЕЗЮМЕ. Чрез теоретични и експериментални изследвания е установено, че в определени условия, при механично въздействие, крехките твърди материали проявяват пластични свойства. Възможно е крехките материали да бъдат обработвани така, че преобладаващият механизъм да бъде не разрушение а пластично протичане. Теоретичният модел на размерно-регулируемата и бездефектна обработка на минералите с твърда структура чрез рязане, е създаден на базата на физическата мезомеханика, в чиято основа лежи нова парадигма – концепцията за структурните нива на деформация на твърдите тела. Режим на пластична повърхностна обработка на минералите и материалите, може да бъде осигурен при специален подбор на параметрите на обработката.

Currently, attention is paid to the establishment and development in Russia to the diamond complex, based on the use of Russian diamond resources for production of new articles for microelectronics, aircraft technologies, medicine and jewelries. Attempts have been made for solution of the problems of non-defect diamond processing, including in "hard" direction with regard to abrasion in crystal lattice. At that, the quality of the processed diamond surface is of great importance.

Due to the achievements in mesomechanics, it has become possible for the brittle materials to be processed in a way, at which the prevalent mechanism is not the destruction, but the plastic flow. At such a grinding of the brittle materials in regime of plasticity, the properties of surface obtained are as after polishing or lapping.

The plasticity of brittle materials appears at small loads and movements of the processing tool. The success in electronic microscopy of deformed materials and alloys allows the fundamental regularities of the appearance of the movement and self organization of the basic type of the deformational defects – the dislocation to be researched on microscale level.

The theory of dislocations, developed on this basis allows a physical interpretation of many regularities of the hard body's behavior in different load conditions to be given.

A stage of the nature of plasticity and strength of the hard bodies of principle importance is related to the development of physical mesomechanics of the materials. Its main task is the quantitative relation of the dislocations movement on microscale level to the integral mechanical characteristics on macroscale level depending on the material composition, its internal structure and load conditions. The physical mesomechanics of the materials is based on a new paradigm – the conception of the structural levels of the hard bodies' deformation. It has been theoretically grounded and experimentally confirmed that the slip researched in microlevel as an elementary act of plastic flow is accompanied by rotational oscillations with natural frequency of the deformation on a higher mesoscopic scale level. The rotational oscillations with natural frequency involve in a self-harmonized deformation the whole hierarchy of structural levels of the loaded medium. During the plastic flow, the loaded material forms dissipative structures on mesolevel, able to realize

plastic deformation in the scheme “slip + rotation”. This way, the hard body subjected to deformation is a multilevel hierarchic self-organizing system, in which the micro-, meso- and macro-levels are interconnected.

So, the achievements in the field of physical mesomechanics have revealed new possibilities for processing of brittle materials in regime of quasi-plasticity. Apart from that, it has been found out that the appearance of the area of plastic deformations is not only related to the material nature (brittle or plastic, solid or soft, amorphous or crystal), but to the cutting depth as well. At that condition, formation of similar plastically deformed areas is observed at processing of various ceramic materials and also glasses and crystals (Коньшин А.С., Сильченко О.Б., Теплова Т.Б., 2002.).

At external action of a rhythmic field in elastic processing system (EPS) on microlevel there is an action of a grain of the cutting tool on a point of the processed surface. Oscillations of the mesovolume appear on mesolevel gradually disturbing its

slide resistance. Break of the surface section happens on macrolevel (fig. 1).

On the basis of the data of hard materials grinding in plastic regime it has been find out that in order a visible brittle break to be avoided at glass grinding, the gradation of accuracy adjustment of the cutting-in feed per a rotation of the abrasive disk should not be less than 5 nm. Such a level of accuracy could has been rarely found in grinding practice because of the extremely rigid constructional connections needed in order a considerable mutual movements of the processed detail and the abrasive disk under the influence of disturbances of different types not to be allowed. The equipment PEGASUS, developed by T. G. Bifano and T. A. Dow (Bifano. T.G., Blake. P., Dow, T.A., and Scattergood, R.O. June.1988.) has been used in the task solution. The equipment design is based on the fact that grinding in regime of plasticity needs combination of high rigidity (in order precision to be provided) and small speeds of cross feed (providing the material separation in accordance with the plastic flow model (fig. 2)).

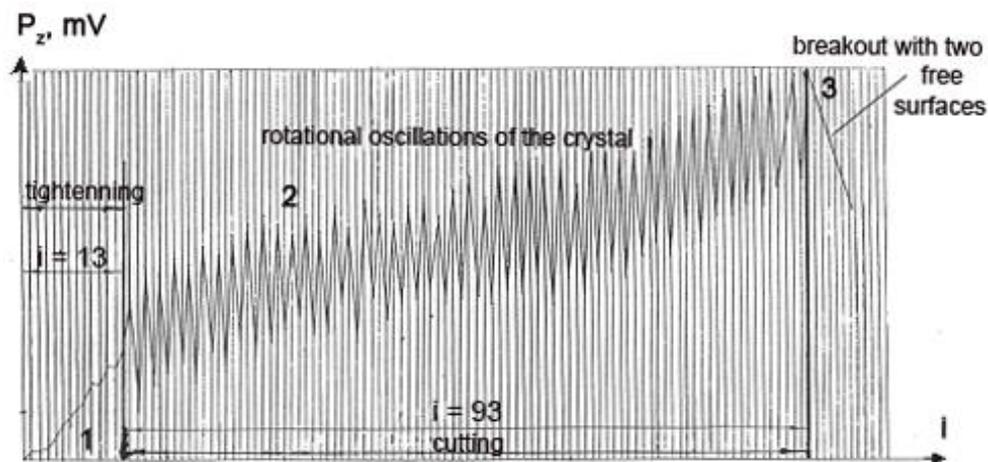


Fig. 1. Experimental oscillogram of alteration of the cutting force normal component. 1 – section of the stressing (tightening) accumulation ; 2 - section of the transient process ; 3 – section of stationary regime; P_z – normal component of the cutting force; i – number of the working paths.

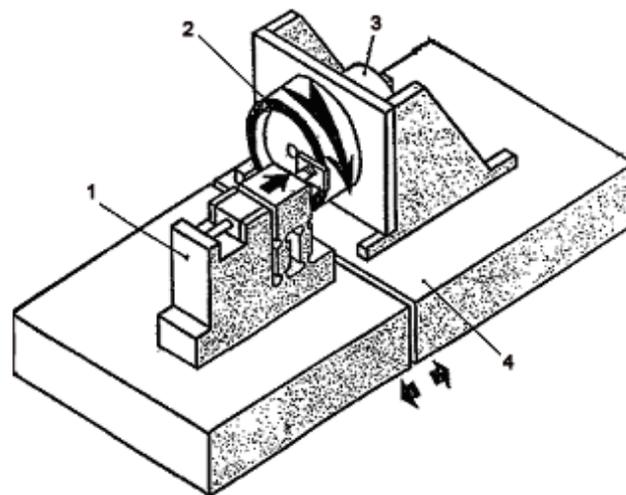


Fig. 2. Diagram of PEGASUS. 1 –work fixture; 2 – abrasive disk; 3 – spindle; 4 – dovetail slide.

This way, all the materials regardless of their hardness and brittleness during the mechanical processing, if the feed is small enough, undergo transition from brittle regime of material separation to plastic. The existence of such a transitional feed

speed has been demonstrated by the abovementioned equipment in a series of experiments.

The task set has been solved and realized by special equipment.

The suggested method for dimensional plastic microgrinding of superhard and brittle materials and monocrystals is realized on a CNC machine (fig. 3) and allows products of high optical classes of cleanness at surfaces with complex profiles to be obtained.

The suggested method (Коньшин А.С., Сильченко О.Б., Брайн Джон Сноу. Патент RU 2165837 С1. - Москва, 2001г)

of dimensional microgrinding of articles mainly from superhard and brittle materials becomes realizable by application of elastic processing system with certain amplitude-phase frequency characteristics of the grinding CNC machine with a tool consisting of connected cutting grains.

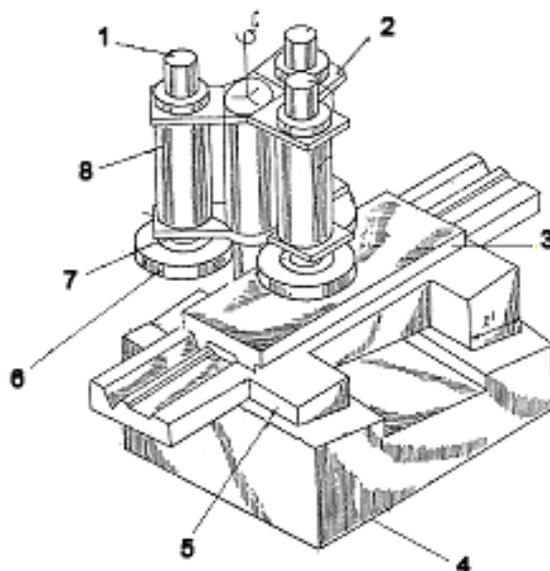


Fig. 3 Machine for dimensional microgrinding with three cutting tools.

1 – motor; 2 – cutting tool fixture; 3 – stop; 4 – frame; 5 – slide; 6- cutting tool; 7 - cutting tool fixture; 8 – drive of rotation.

The mathematical package for determination of the technological parameters includes the introduction of elasticity limit under compression, set dimensions of the finished article, set height of the microroughnesses of the processed surface of the finished article, calculation parameters of the taking down intensity. At each crossing of every indicated contact point of the processed surface and the specified point of the cutting grain the static and dynamic component of the cutting force are continuously measured and the results are used for continuous determination of the static and dynamic component of the elastic deformation of the processing system for each indicated point. During the process of the specified measurements is determined the moment of appearance of the periodically steady dynamic component of the cutting force, corresponding to the moment of the machine control system outcome to a controllable grinding regime, at which a correction is made on the smaller value of one of the parameters of the intensity of the allowance taking down, in such a way that in every indicated contact point the dynamic component of the elastic deformation of the processing system not to exceed the preset height of microroughnesses on the processed surface of the finished article and the sum of the static and dynamic components of the elastic deformations of the machine processing system not to exceed the preset limit of compression elasticity of this system.

Before grinding the machine has to be dimensionally adjusted. In order this to be done all its basing members such as processing tools and the processed articles, and the

mechanisms for the executive displacements of these members toward each other are adjusted in a way allowing theoretically an article with the preset dimensions to be obtained.

The drives of coordinate movements along the axes x , y and z allow the longitudinal and cross feeds to be adjusted by the CNC system in a wide speed range on a various laws. These constructional special features allow articles with complex profile to be made such as ingenious types of facets with protruding elliptic walls.

REFERENCES

- Bifano. T.G., Blake. P., Dow, T.A., and Scattergood, R.O., "Precision Machining of Ceramic Materlals" Proc. of the Intersociety Symposium on the Machining of Ceramic Materials and Components. R. E. Parks. K. Subramanian K Ball eds. Am Cer. Soc., ASME Abras. End. Soc. pp.99-120, April. 1987 (Up-dated and Reprinted in American Ceramic Society Bulletin, June.1988. Vol. 67, No.6. pp. 1038-1044.
- Коньшин А.С., Сильченко О.Б., Теплова Т.Б., (МГГУ). Теория абразивно-алмазной обработки высокотвердых материалов. Учебное пособие. – М. МГГУ, 2002, с. 18...33.
- Коньшин А.С., Сильченко О.Б., Брайн Джон Сноу. Способ размерного микрошлифования изделий, устройство для его осуществления и приспособление для крепления обрабатываемых изделий. Патент RU 2165837 С1. - Москва, 2001г., с. 27...30.

Recommended for publication
of Editorial board

FUNDEMENTAL PRICIPES OF WORKING IN RESONANT CONVERTER FOR INDUCTION HEATING

Goce Stefanov¹, Risto Dambov²

¹ *University Goce Delcev-Stip, e-mail: goce.stefanov@ugd.edu.mk,*

² *University Goce Delcev-Stip, e-mail: risto.dambov@ugd.edu.mk*

ABSTRACT. In the paper has been given theoretical layout of the device for induction heating of the metals. Practical results on realized device show that the device can be used for regenerate of used metals, and for melting the copper concentrate with quality bigger than 60%. The results are procured on copper concentrate procured with extraction in the mine Bucim in Macedonia and Asarel in Bulgaria.

ОСНОВНИ ПРИНЦИПИ НА РАБОТА НА ВИСОКОЧЕСТОТНИТЕ ИНДУКЦИОННИ НАГРЕВАТЕЛИ

Гоце Стефанов¹, Ристо Дамбов²

¹ *Университет Гоце Делчев – Цун, e-mail: goce.stefanov@ugd.edu.mk,*

² *Университет Гоце Делчев – Цун, e-mail: risto.dambov@ugd.edu.mk*

РЕЗЮМЕ. В статията се предлага теоретично разработен проект на прибор за индукционно нагряване на метали. Практическите резултати от експерименталния образец на прибора, показват че той може да се използва за топене на меден концентрат с качество (съдържание на мед) над 60%. Експериментите са проведени с меден концентрат доставен от рудниците Бацим, Македония и Асарел, България.

1. INTRODUCTION

All IH (induction heating) applied systems are developed using electromagnetic induction which was first discovered by Michael Faraday in 1831. Electromagnetic induction refers to the phenomenon by which electric current is generated in a closed circuit by the fluctuation of current in another circuit placed next to it. The basic principle of induction heating, which is an applied form of Faraday's discovery, is the fact that AC current flowing through a circuit affects the magnetic movement of a secondary circuit located near it. The fluctuation of current inside the primary circuit provided the answer as to how the mysterious current is generated in the neighboring secondary circuit. Faraday's discovery led to the development of electric motors, generators, transformers, and wireless communications devices. Its application, however, has not been flawless. Heat loss, which occurs during the induction heating process, was a major headache undermining the overall functionality of a system. Researchers sought to minimize heat loss by laminating the magnetic frames placed inside the motor or transformer. Faraday's Law was followed by a series of more advanced discoveries such as Lenz's Law. This law explains the fact that inductive current flows inverse to the direction of changes in induction magnetic movement. Heat loss, occurring in the process of electromagnetic induction, could be turned into productive heat energy in an electric heating system by applying this law. Many industries have benefited from this new breakthrough by implementing induction heating for furnacing, quenching, and welding.

In these applications, induction heating has made it easier to set the heating parameters without the need of an additional

external power source. This substantially reduces heat loss while maintaining a more convenient working environment. Absence of any physical contact to heating devices precludes unpleasant electrical accidents. High energy density is achieved by generating sufficient heat energy within a relatively short period of time.

The demand for better quality, safe and less energy consuming products is rising. Products using IH include electronic rice cookers and pans. Safe, efficient and quick heating appliances attract more customers. This document describes induction heating, power systems, and IH applications.

2. BASICS OF INDUCTION HEATING

Induction heating is comprised of three basic factors: electromagnetic induction, the skin effect, and heat transfer. The fundamental theory of IH, however, is similar to that of a transformer. Electromagnetic induction and the skin effect are described in this section. Figure 2-1 illustrates a very basic system, consisting of inductive heating coils and current, to explain electromagnetic induction and the skin effect. Figure 2-1-a shows the simplest form of a transformer, where the secondary current is in direct proportion to the primary current according to the turn ratio. The primary and secondary losses are caused by the resistance of windings and the link coefficient between the two circuits is 1. Magnetic current leakage is ignored here. When the coil of the secondary is turned only once and short-circuited, there is a substantial heat loss due to the increased load current (secondary current). This is demonstrated in Figure 2-1-b.

Figure 2-1-c shows a system where the energy supplied from the source is of the same amount as the combined loss of the primary and secondary. In these figures, the inductive coil of the primary has many turns while the secondary is turned only once and short-circuited. The inductive heating coil and the load are insulated from each other by a small aperture. The next phase of the skin effect occurring under high frequency is presented in Section 2-2. As the primary purpose of induction heating is to maximize the heat energy generated in the secondary, the aperture of the inductive heating coil is designed to be as small as possible and the secondary is made with a substance featuring low resistance and high permeability. Nonferrous metals undermine energy efficiency because of their properties of high resistance and low permeability.

2-1. Electromagnetic Induction

As shown in Figure 2-1, when the AC current enters a coil, a magnetic field is formed around the coil according to Ampere's Law.

$$\int Hdl = Ni \quad (2-1)$$

An object put into the magnetic field causes a change in the velocity of the magnetic movement. The density of the magnetic field wanes as the object gets closer to the center from the surface. According to Faraday's Law, the current generated on the surface of a conductive object has an inverse relationship with the current on the inducing circuit as described in Formula 2-2. The current

on the surface of the object generates an eddy current.

$$E = -\frac{d\phi}{dt} \quad (2-2)$$

As a result, the electric energy caused by the induced current and eddy current is converted to heat energy as shown in Formula 2-3.

$$P = \frac{E^2}{R} = \frac{I^2}{R} \quad (2-3)$$

Here, resistance is determined by the resistivity (ρ) and permeability (μ) of the conductive object.

Current is determined by the intensity of the magnetic field. Heat energy is in an inverse relationship with skin depth which is described in Section 2-2. If an object has conductive properties like iron, additional heat energy is generated due to magnetic hysteresis. The amount of heat energy created by hysteresis is in proportion to the size of the hysteresis. In this document, this additional energy is ignored because it is far smaller (less than 10%) than the energy generated by induction current.

2-2. Skin Effect

The higher the frequency of the current administered to the coil, the more intensive is the induced current flowing around the surface of the load. The density of the induced current diminishes when flowing closer to the center as shown in Formula 2-4 and 2-5 below. This is called the skin effect or kelvin effect. From this effect, one can easily infer that the heat energy converted from electric energy is concentrated on the skin depth (surface of the object).

$$I_x = i e^{-\frac{x}{do}} \quad (2-4)$$

where,

I_x : distance from the skin (surface) of the object, current density at x .

I_0 : current density on skin depth ($x=0$)

do : a constant determined by the frequency (current penetration depth or skin depth)

ω : Frequency of the current flowing through the object

Formula 2-5 states that the skin thickness is determined by the resistivity, permeability, and frequency of the object.

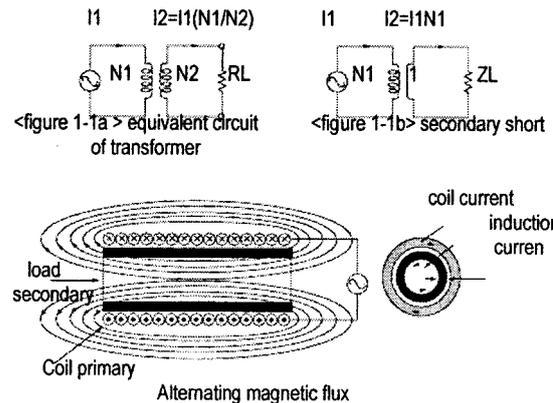


Fig. 2-1: Basics of Induction Heating

$$do = \sqrt{\frac{2\rho}{\mu\omega}} \quad (2-5)$$

where,

ρ : resistivity

μ : permeability of the object

ω : Frequency of the current flowing through the object

Formula 2-5 states that the skin thickness is determined by the resistivity, permeability, and frequency of the object.

3. TOPOLOGY OF POWER SYSTEM

Generally, semiconductor switching devices operate in Hard Switch Mode in various types of PWM DC/DC converters and DC/AC inverter topology employed in a power system. This process results in switching loss. The higher the frequency the more the switching loss, which obstructs efforts to raise the frequency. Switching loss can be calculated in a simple way as shown in Formula 3-1 below. Switching also causes an EMI problem, because a large amount of di/dt and dv/dt is generated in the process.

$$PSW = \frac{1}{2} V_{SW} I_{SW} (t_{on} + t_{off}) \quad (3-1)$$

where,

P_{sw} : switching loss [W]

V_{sw} : switching voltage [V]
 I_{sw} : switching current [A]
 f_s : switching frequency [kHz]
 t_{on} : switch turn-on time [s]
 t_{off} : switch turn-off time [s]

By raising the switching frequency, you can reduce the size of a transformer and filter, which helps build a smaller and lighter converter with high power density. But as presented earlier, switching loss undermines the efficiency of the entire power system in converting energy, as more losses are generated at a higher frequency. Switching loss can be partly avoided by connecting a simple snubber circuit parallel to the switching circuit. However, the total amount of switching loss generated in the system remains the same. The loss avoided, has in fact, just moved to the snubber circuit. Higher energy conversion efficiency at high frequency switching can be obtained by manipulating the voltage or current at the moment of switching to become zero. This is called "Soft Switching", which can be subcategorized into two methods: Zero-voltage switching and Zero-current switching. Zero-voltage switching refers to eliminating the turn-on switching loss by having the voltage of the switching circuit set to zero right before the circuit is turned on. Zero-current switching is to avoid the turn-off switching loss by allowing no current to flow through the circuit right before turning it off. The voltage or current administered to the switching circuit can be made zero by using the resonance created by an L-C resonant circuit. This topology is named a "resonant converter." In Zero-current switching, the existing inductance is absorbed into the resonant circuit, eliminating the surge in voltage in a turn-off situation. A voltage surge resulting from an electric discharge of junction capacitance, which occurs upon turning on the switching circuit, cannot be avoided. This method has a defect of causing switching loss ($0.5CV^2f$). Zero-voltage switching, however, is free from such a defect by making both the existing inductance and capacitance to be absorbed by the resonant circuit. This eliminates any chance of causing a surge in current both at turn-off (caused by inductance) or turn-on (by capacitance) conditions. Zero-voltage switching enables switching with less loss while substantially reducing the problem of EMI at high frequency. This difference in features make Zero-voltage switching more desirable than Zero-current switching.

3.1 Resonant Converter

The resonant circuit of a resonant converter consists of a capacitor, an inductor, and resistance. Two types of resonant converters are generally used: a series resonant circuit and a parallel resonant circuit. For resonant frequency of the amount of energy stored in the capacitor to be sent to the inductor. Resonance occurs while the inductor and the capacitor exchange the energy. The total amount of energy stored in the circuit during resonance remains unchanged. This total amount is the same as the amount of energy stored at peak in the conductor or capacitor. Fig. 3-1 is full bridge converter for induction heating.

Fundamental principle that in the design of a small - sized electrical equipment, the voltage and current in the circuit must

be operated with a high frequency. This can be achieved by operating the switching device of the circuit with a switching frequency of the level of tens or hundreds of kilohertz. By this method, there will be some power loss in the circuit in terms of switching loss that tends to increase with the switching frequency. To eliminate the switching loss with high switching frequency, the conventional circuit with hard switching operation will be replaced by a resonant circuit with soft switching or zero voltage switching operation (ZVS). In some applications, the output power control can be achieved by controlling the pulse width of the square wave output voltage, using the phase-shift control between the gate signal of each branch of a single-phase full-bridge inverter. In case of an ideal MOSFET switching device without stray capacitance (C_{oss}), during increase of phase shift for reducing output power, the

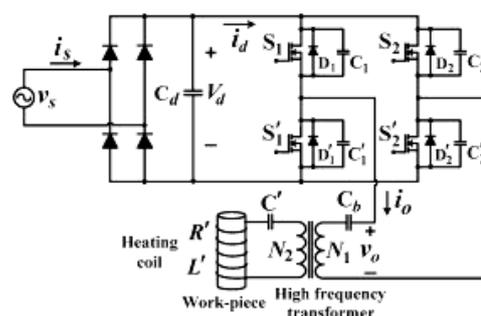


Fig 3-1. Full-bridge inverter-fed induction heating.

switching frequency must always be slightly increased in order that the phase angle of output current never leads both the positive and negative front edges of the output voltage waveform], but the phase angle must always lag the front edges so as to allow the regenerative mode to occur or the body diode of the next-coming turn-ON ideal MOSFET switch to conduct before the powering mode of circuit operation; otherwise, the inverter circuit will be driven away from the condition of ZVS (NON-ZVS). For the practical switching device with C_{oss} , the switching frequency must be increased slightly further when compared with the case of the aforementioned ideal switching device in order to still maintain the operating condition of ZVS by making a complete discharge from C_{oss} before the next-coming turn-ON time of the same switching device. The detailed analysis to explain the internal operating mechanism of the circuit during the charge-discharge process of the four switch capacitors (C_{oss}) of the full-bridge inverter, both by mathematical calculation and experimental verification, has not been presented. So, how to analyze the circuit operation during the charge-discharge process by calculation with experimental verification is the aim of this research. In order to solve this problem, the single-phase full-bridge series resonant inverter with a load of induction heating has been developed in our laboratory, as shown in Fig.3-1, to verify the principle proposed in this paper by experimental results.

In case of an ideal switching device without C_{oss} , there will be only one region of phase-shift control angle ($0 < \phi$), while reducing the output power from its maximum value; but in the practical case with a certain value of C_{oss} , the phase-shift control angle ($0 < \phi$) will be divided into two different operating regions. In the first region, where the phase shift ϕ lies over the

range of $\phi_{min} \leq \phi$ (hereinafter referred to as the conventional phase shift), the charge–discharge will occur in each of the two branches between the upper and lower capacitors, as indicated by [3] [5] and [3]' [5]' in the upper waveform of Fig. 3-2(a) and (b). For the second region, with the control range of phase shift $0 \leq \phi \leq \phi_{min}$, the charge–discharge process becomes quite different from that of the first region. The circuit operation over this region is under a changing condition of mode of circuit operation from the conventional phase shift to zero phase shift (hereinafter referred to as the transition phase shift). For the phase shift with control angle over the range of $0 \leq \phi \leq \phi_{min}$, the charge–discharge process will be mixed with both the case of one-branch charge–discharge process for two short time durations, as indicated by [3] [5] and [3]' [5]' in the lower waveform of Fig. 3-2(c) and also with only the case of the two-branch charge–discharge process for one short time duration, as indicated by [4] and [4]' and [4]' in the lower waveform of the same figure. At the end point of phase-shift control angle, which is the position of zero phase shift ($\phi = 0$), there will be the case of only the two-branch charge–discharge process, as shown in Fig. 3-2(d). The minimum phase shift (ϕ_{min}) in Fig. 3-2(a)–(d) is the boundary position between the conventional phase-shift and the transition phase-shift control regions. The output voltage waveform at this position of minimum phase-shift control (ϕ_{min}) can be shown in Fig. 3-2(b). The principle proposed can be applied to the series resonant inverter using the principle of phase shift for output power control. In this application, the circuit designer must consider correctly the relationship between the phase-shift angle (ϕ) and the operating frequency (f_s); especially in case of higher rating of MOSFET power switching device that has a higher value of C_{oss} , the switching frequency must be designed to be higher than for the case of lower rating of power switching device, when considering at the same phase-shift angle or same output power level, in order to maintain the circuit to operate under the same operating condition of ZVS and to protect all the switching devices from not being damaged.

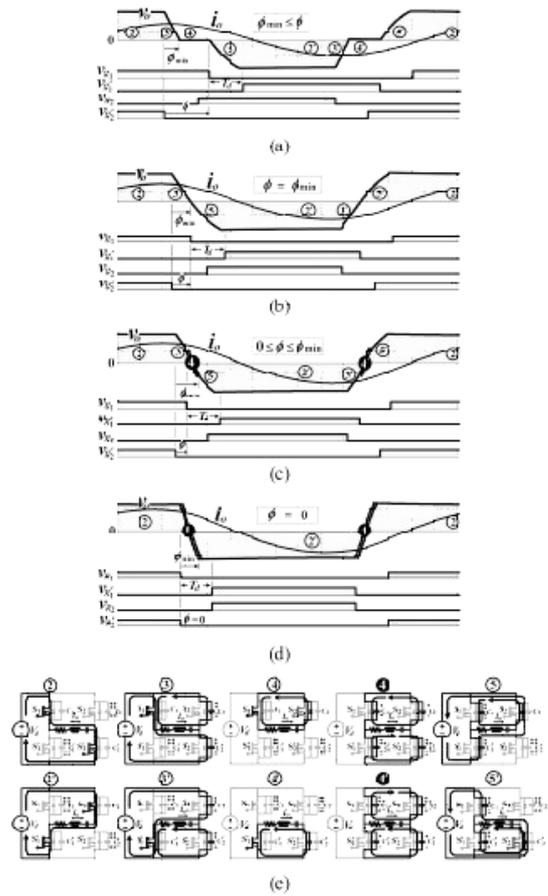


Fig. 3-2. Analyze the charge transfer process of the inverter switches under two different operating regions of phase shift ϕ : (a) and (b) for the first region of phase shift $\phi_{min} \leq \phi$, and (b)–(d) for the second region of phase shift $0 \leq \phi \leq \phi_{min}$.

4. CONCLUSION

The inverter circuit operation with two regions of conventional phase shift and transition phase shift under ZVS and NON-ZVS conditions for induction heating can be concluded as follows.

1) In case of an ideal MOSFET switching device without stray capacitance (C_{oss}), during phase-shift control, the switching frequency must always be slightly increased in order that the phase angle of output current never leads both the positive and negative front edges of the output voltage waveform; otherwise, the inverter circuit will be driven away from the condition of ZVS (NON-ZVS). For the practical switching device with C_{oss} , the switching frequency must be increased slightly further when compared with the case of the aforementioned ideal switching device in order to still maintain the operating condition of ZVS by making a complete discharge from C_{oss} before the next-coming turn-ON time of the same switching device.

2) In the control range of the transition phase shift with $\phi < \phi_{min}$, the charge transfer occurs in both one-branch and two-branch switch capacitors, while in the control range of conventional phase shift with $\phi_{min} \leq \phi$, the charge transfer of two-switch capacitors occurs only in one branch of the switch capacitor. Although, the charge transfer process in these two regions of phase shift ϕ is quite different, the continuous

characteristic curves of the four critical parameters between these two cases can still be obtained, as shown in the graphs.

3) In the control range of conventional phase shift $\phi_{\min} \leq \phi$, where charge transfer occurs only in one branch, each capacitor voltage changes between 0 and $+V_d$, and the output voltage changes between 0 and $+V_d$ and also between 0 and $-V_d$, which results in the same rate of change of output voltage as that of the capacitor voltage. On the other side of the phase-shift control range, $\phi \leq \phi_{\min}$, which is the region of transition phase shift, where the two branch charge transfer occurs and the rate of change of the output voltage becomes twice that of the capacitor voltage.

4) For the variable region of phase shift $0 \leq \phi$, the beginning and ending points of the charge transfer for each pair of switch capacitors in the same branch will not be at the same time, but will depend on the time instant the turn-OFF signal is initiated. In this case, the turn-OFF signal of the second branch is initiated before the first branch; therefore, the charge transfer in the second branch will terminate before the first branch. Consequently, the switches in the first branch will be damaged in case the NON-ZVS operating condition occurs in the circuit [see Fig. 2(a)–(d)]. Without phase-shift control ($\phi = 0$) or in case of a conventional square wave, the turn-ON and turn-OFF signals will be initiated at the same time instant; therefore, the beginning and ending points of charge transfer will be at the same time, and consequently, all the switches in both branches will be damaged due to NON-ZVS operation in the circuit.

5) In the paper has been given theoretical layout of the device for induction heating of the metals. Practical results on realized device is in power of 60kW and melting 100kg copper.

Also the device can be used for regenerate of used metals, and for melting the copper concentrate with quality bigger than 60%. The results are procured on copper concentrate procured with extraction in the mine Bucim in Macedonia and Asarel in Bulgaria. With this method we obtain copper with 99.9% Cu quality. 6) The results from this paper can be used for construction on devices for induction heating with power from 500kW.

REFERENCES

- [1] P. Viriya, N. Yongyuth, and K. Matsuse, "Analysis of transition mode from phase-shift to zero-phase shift under ZVS and NON-ZVS operation for induction heating inverter," in *Proc. IEEE Power Convers. Conf. (PCC 2007)*, Nagoya, Japan, Apr. 2–5, pp. 1512–1519.
- [2] Y. Jang and M. M. Jovanovic, "A new PWM ZVS full-bridge converter," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 22, no. 3, pp. 987–994, May 2007.
- [3] P. Viriya, N. Yongyuth, I. Miki, and K. Matsuse, "Analysis of circuit operation under ZVS and NON-ZVS conditions in phase-shift inverter for induction heating," *Inst. Electr. Eng. Jpn. (IEEJ) Trans. Ind. Appl.*, vol. 126, no. 5, pp. 560–567, May 2006.
- [4] L. Grajales and F. C. Lee, "Control system design and small signal analysis of a phase-shift-controlled series-resonant inverter for induction heating," in *Proc. IEEE Power Electron. Spec. Conf. (PESC 1995)*, Jun. 18–22, vol. 1, pp. 450–456.
- [5] K.H.Liu, R.Oruganti and F.C.Lee, Resonant switches- Topologies and characteristics, IEEE Power Electronics Specialists Conference Record, pp.106~116, 1985.

*Recommended for publication
of Editorial board*

THE LIFE OF WELDED FRICTION DISCS 4K4016 IN CZECH REPUBLIC

Hynek Přeček¹, Zdeněk Foltá, Zdeněk Jonšta², Miroslav Tvrký²

¹VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering

²VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Metallurgy and Material Engineering

17. Listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, CZECH REPUBLIC

ABSTRACT. The mining equipment of type 4K4016 at OKD, a.s., Ostrava is delivered by ČKD Praha. In the region of cyclic stressing $5 \cdot 10^7$ cycles it is necessary to repair the welding parts. The article brings the solution of design.

ДЪЛГОТРАЙНОСТ НА ЗАВАРЕНИ ТРИЕЩИ СЕ ДИСКОВЕ ТИП 4K4016 ПРОИЗВЕДЕНИ В РЕПУБЛИКА ЧЕХИЯ

Хайнек Пречек, Зденек Фолта, Зденек Йонста, Мирослав Твърди

Технически университет, Острава, 708 33 Острава-Поруба, Република Чехия

РЕЗЮМЕ. Минното оборудване тип 4K4016 работещо в Минно-обогатителен комплекс гр. Острава се доставя от машиностроително предприятие в гр. Прага с дълготрайност $5 \cdot 10^7$ работни цикъла, след което е необходимо да се възстановят заварките в детайла. В статията се предлага ново конструктивно решение, при което е повишена дълготрайността на детайла.

1. Introduction

For the coal mining in OKD, a.s., Ostrava we use the hoisting machines (HM) of the type 4K5016 and 4K4016. We are always speaking about the main skip HM. With regards to the mining intensification it is necessary to innovate the friction discs after the distinct time.

2. Parameters of the 4K4016

The friction disc	...	Ø 4 m
The width of disc	...	1,6 m
Number of lifting ropes	...	4
Ropes	...	Ø40 mm
Lifting capacity	...	1185 kN
Depth of mining	...	900 m
Movement rate	...	16 m.s ⁻¹
Loading	...	210 kN

3. The friction discs

Delivery and assembly is secured by ČKD PRAHA. The delivered discs were always divided on two parts and on the site, after placing them on the shaft, they have been welded together. The drawing of the assembly of disc is designated 0 HOR 512 61, the static calculation is designated 4HOR 2312 P. The base of the disc is the steel mantle from the plate of thickness $t = 28$ mm (the material ČSN 11425.1) of outer diameter 3740 mm. The side walls are doubled, $t_1 = 12$ mm,

$t_2 = 6$ mm (internal). On both sides of discs are situated twice the brake coils of 280 mm width for the shoe swinging brakes.

4. Operation details

Since the year 1970 are working in OKD, a.s., the following HM:

Mine ČSM	2
Mine ČSA	2
Mine Staříč	1
Mine Zbyšov u Brna	1
Mine Moštěnica (Poland)	2

By these machines, after 5×10^7 loading cycles, microcracks and then macrocracks were observed in weldments of either mantle or the side walls of discs.

There have been elaborated the mathematical computed methods by using the method of finite elements (FEM). All these calculations were conforming the mining rule 12/82, including the public notice ČBÚ č. 415/2003 Sb. But even after such repairs the micro and macrocracks reappeared. The most extensive calculations and structure design changes have been carried out by the INCO engineering, s. r. o. It concerns the strength and fatigue life calculations of the friction disc and the main shaft, both for the original state and the state after the modification, i. e. for HM 3/1 and HM 3/2, air shaft No. 3, OKD, a.s., Mine ČSA and Mine ČSM. For those HM also exist the professional evaluation of friction disc after the designed modification from the point of view of fatigue life at the dynamic loading (2/2001). Also in the document about the evaluation of the driving barrel of HM 4K4016 and the results

of tensometric measurements from the VÍTKOVICE, Institute of Applied Mechanics Brno, s.r.o., 6/2001.

The modified discs (the welded parts) displayed again the micro and macro-cracks after some 5×10^6 cycles. The new structure using the FEM method of calculation and the newest knowledge from the design of large shell units has limited the solution to the elimination of weldments in the divided plane, but the holding is done by matching screws including the mock-up HYDROCAM SKF.

At the same time the shoe brake is replaced by disc brake with the hydraulic regulation of the individual brake aggregates including the reconstruction of the engineer desk. The hoisting machines are working at the coal mining completely automatically.

5. Conclusion

The sequential innovation of friction discs and the replacement of shoe brakes by the disc brakes brings the possibility of further mining from the depth 1000 m and more at the time of existence of underground reserve of coal for further 20 – 25 years.

*Recommended for publication
of Editorial board*

References:

- Vyhláška Českého báňského úřadu č. 415/2003 Sb.
Folta Z., Přeček H., *The Pit Equipment Working Life Prolongation*. In Proceedings the 14th international conference on automation in mining ICAMC2001, Helsinki university of technology, 2001, Finsko, s. 341 ... 346, ISBN 951-22-5615-0.
- Přeček 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.
- Přeček, 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.
- Přeček, 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.
- Boroška, J., Fedorko, G.: Modelovanie namáhania drotvov ocelových lán. In XXV. NAUKOVO-DYDAKTICZNE FORUM EUROPEJSKICH KATEDER MASZYN GÓRNICZYCH I LOGISTYKI, Gliwicz-Ustroń 23.-24. października 2003

LIFE-CYCLE ASSESSMENT OF STEEL CONSTRUCTIONS IN CZECH REPUBLIC

Jana Kodymová

VŠB - Technical University of Ostrava, 17. Listopadu 15, 70800 Ostrava - Poruba, jana.kodymova@vsb.cz

ABSTRACT. Paper deals with life-cycle assessment of steel constructions in Czech Republic. We survey the flow between its particular stages (raw materials mining, processing, production of raw iron, production of raw steel, production of semi-finished products, production of steel constructions, consumption and disposal) and environment. Very detailed information was obtained about inputs and outputs. Better accuracy of information is gained by presentation methodology. Conversion and recalculation of data from production of raw steel and production of semi-finished products according specific standards are mentioned. Specific standards are deriving from structure prefabricated elements, which are used for production of steel constructions in monitored company.

ОЦЕНКА НА ЖИЗНЕНИЯ ЦИКЪЛ НА СТОМАНЕНИ КОНСТРУКЦИИ В ЧЕШКАТА РЕПУБЛИКА

Яна Кодимова

Технически университет, Острава, 17. Септември 15, 70800 Острава-Поруба, jana.kodymova@vsb.cz

РЕЗЮМЕ. В статията се прави оценка на жизнения цикъл на стоманени конструкции в Чешката Република. При направеното проучване е получена много детайлна информация на входа и изхода за връзките между отделните жизненни етапи (суровина, добив, преработка, производство на желязо, производство на сурова стомана, производство на полуготови продукти, производство на метални конструкции, потребление и пласмент) и околната среда. Представена е методологията чрез която се получава по-точна информация. Споменатите преобразувани и преизчислени данни относно продукцията на сурова стомана и производството на полуготови продукти са съгласувани със специфичните стандарти. Специфичните стандарти, произтичат от структурата на сглобяемите елементи, които се използват за производство на стоманени конструкции в наблюдаваните дружества.

Introduction

If we want to make the good decisions, we must have good-quality information. For that reason Life-cycle of steel structures was created from most detailed information, and is also adhered to principle of maximum transparence of used information's correction and calculation. The Life-cycle of steel structures was created in conformity with European Union legislations (ISO 14 000), and all obligate stages of product's life-cycle assessment were done (definition of the purpose and the immensity, inventory analyses, analyses of environmental impact and interpretation).

Creation of life-cycle of steel structures

Life-cycle has the following stages:

- iron ore mining and preparation, sinter and iron production, steel production, rolled stock production, steel structure production, steel structure servicing and repairing, steel structure disposal.

Life cycle was created from primary information, which had been given to author by main producers of iron and steel in Czech Republic, and from secondary information. Secondary information was taken from information databases of Czech Environmental Department (IRZ and EIA databases), information databases of Czech Trade and Industry Department (IPPC database) and information databases of European Union (BREFF documents).

Due to maintaining detailed information of creating life-cycle was created all life-cycles of external products in the same way. External products are products, which input to

life-cycle of steel structures. There was created following simple life-cycles:

- electric energy and thermal energy producing
- crude oil mining, transport and processing
- natural gas mining and transport
- black and brown coal mining and preparation
- uranium ore mining and preparation
- coke and coke-oven gas producing
- lime stone mining and lime producing
- mediums (oxygen, nitrogen, argon, compressed air, producer gas, acetylene and demineralized water) producing
- clay mining and ovenware producing
- aggregates (ferroalloys, calcium carbide) producing
- organic and inorganic materials producing

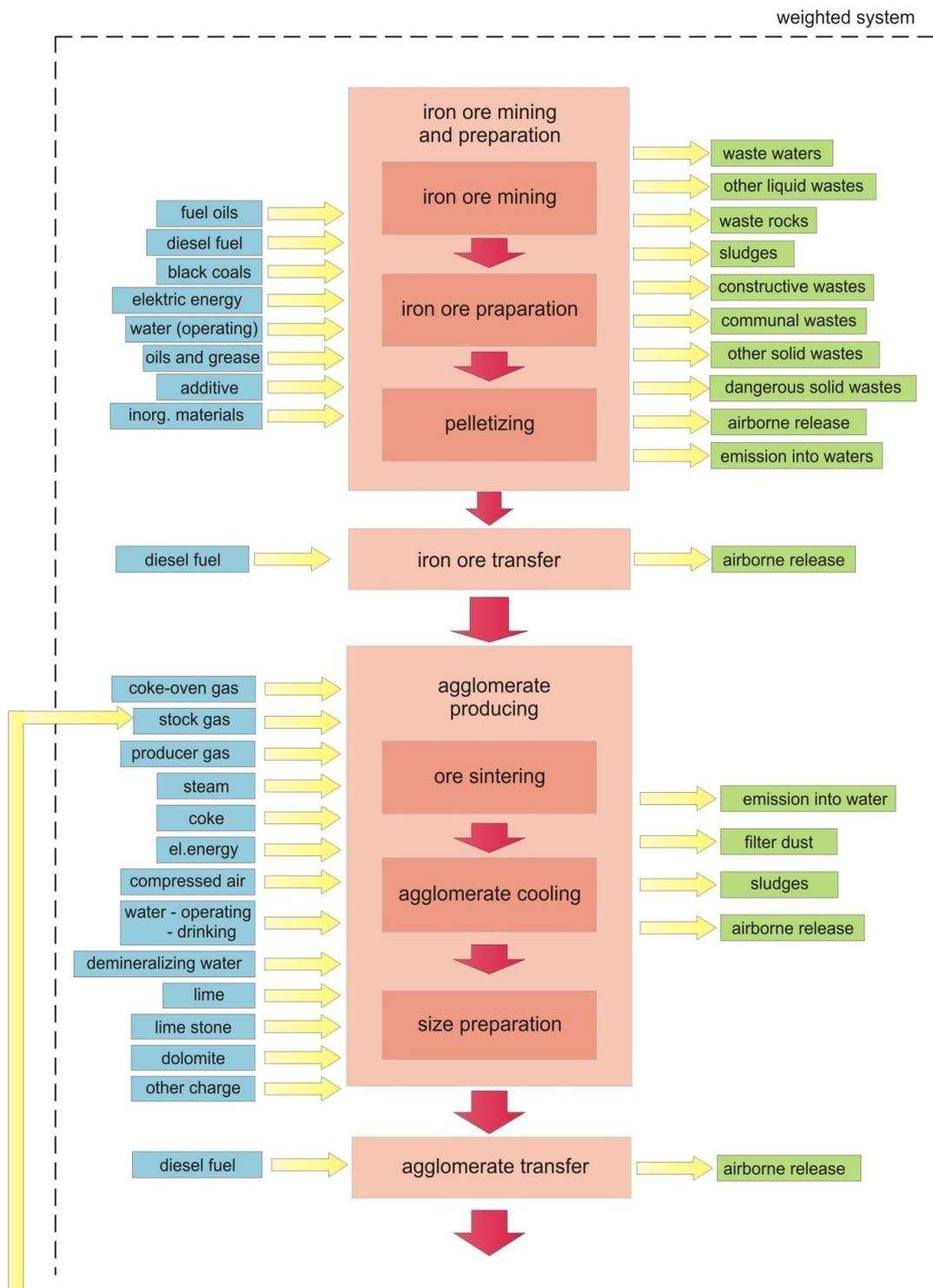
Descriptions of life cycle creating have detailed characterizing in author's thesis. Main attention has been paid to life-cycle of fundamental materials (electric and thermal energy, crude oil, natural gas, black and brown coal). From information obtained by inventory analyze 2 inventory matrixes were created:

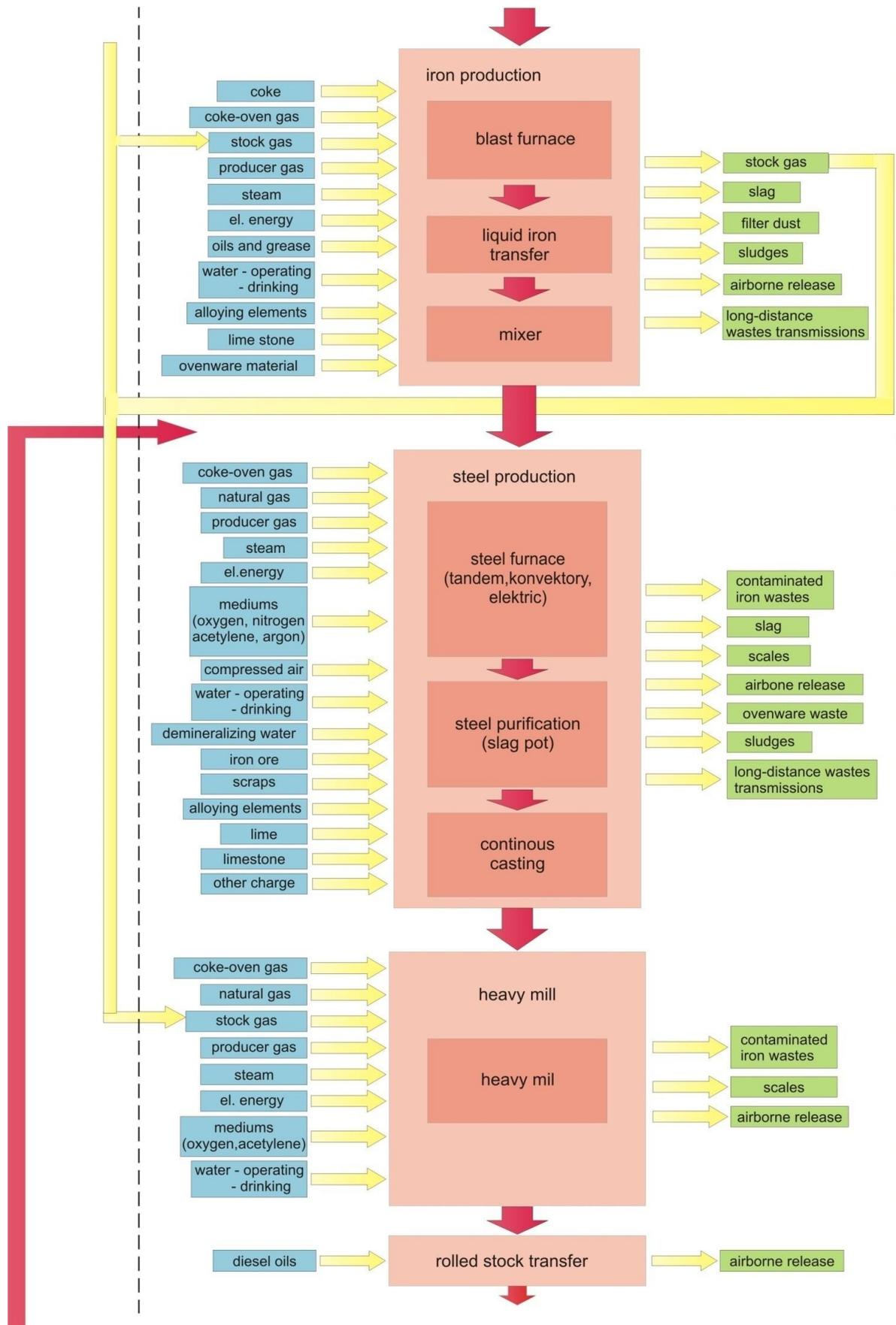
- inventory matrix of environmental impacts participation of particular stages of production
- inventory matrix of total environmental impacts of particular stages of production

In the first final matrix environmental impacts of particular stages of production were quantitatively appointed. In the second matrix there was made sum total of all impacts in particular stages, where impacts from all previous stages are included. Results of the secondary matrix could apply very good in technical practice, because they give the summary of

total impacts linked with producing in particular stages.
 There was created detailed graphic figure of life-cycle of steel

structures too.





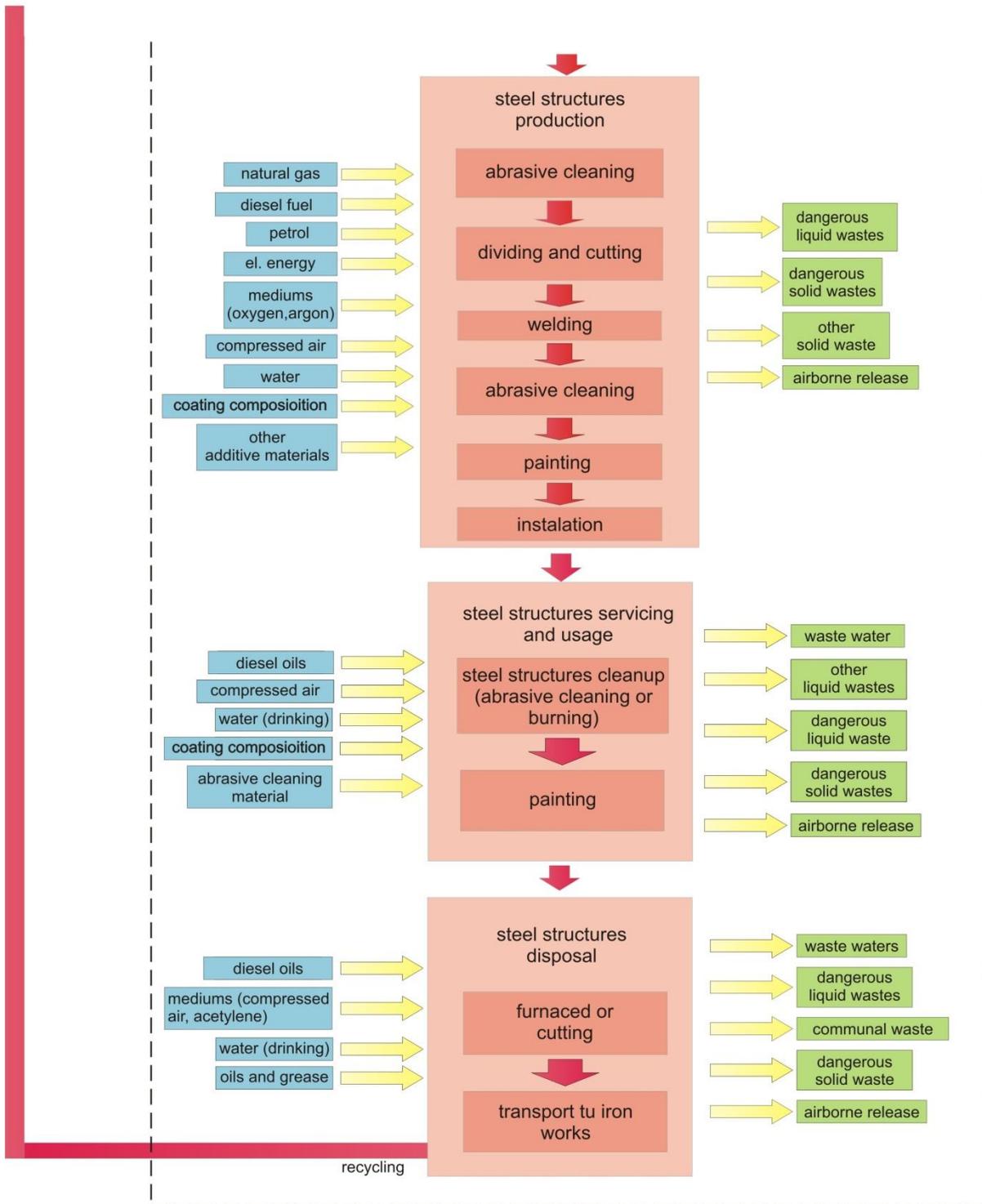


Fig. 1: Detailed figure of life-cycle of steel structures

In agreement with European legislative Life-cycle environmental impact analyses (LCIA) of steel structures were made. On the basis of the first matrix results have been assessing the following primary environmental impacts: mineral raw material and water consumption

- waste production
- contributing to climate changes owing to radiation-active gases emissions (so-called greenhouse effect)

- contributing to origin of acid dry and wet atmospheric depositions (so-called acid rain)
- contributing to water eutrophization
- contributing to increases in environmental toxicity (air toxicity, which damage human health, and toxicity of water environment)

During the 1t steel structural production is used:

- 4,06 t mineral raw materials (black coal, brown coal, crude oil, natural gas, uranium ore, lime, clay, iron ore, other ores, other raw materials)

- 70,790 t water and is produced 20,298 t waste water

During the 1t steel structural production is produced: 6,935 t wastes (was valued 3 fundamental groups: inert, dangerous and other wastes)

- 3,806 t greenhouse gases (CO₂, methane, hydrochlorofluorocarbons), which was aggregated through the CO₂- equivalent
- 9,596 kg gases, which are conducive to acid rains (nitrogen oxides, sulfur oxides and ammonia), which was aggregated through the SO₂- equivalent
- 1,705 kg matter, which are conducive to water eutrophization (total nitrogen and phosphorus, nitrogen oxides and nitrogen, which is bound to ammonia), which was aggregated through the PO₄-3 - equivalent
- 19,296 kg matter, which are conducive to air toxicity (arsenic, benzene, benzopyrene, ammonia, chlorine, chrome, cadmium, copper, nickel, lead, mercury, vanadium, zinc, gauze), which is bound to ammonia), which was aggregated through the Pb - equivalent
- 19,296 kg matter, which are conducive to water toxicity (arsenic, chrome, cadmium, copper, nickel, lead, mercury, zinc), , which is bound to ammonia), which was aggregated through the PNEC-equivalent

During LCIA was detected that most of impact is the cause of energy production (electric and thermal energy). Those impacts were the cause of 2 processes:

- outright producing (energy-intensive consumption through particular stage producing)
- energy-intensive products consumption

Producing pollution was produced by iron and steel productions (by steel production has been producing the most of air toxicity, and iron production has been producing the most of greenhouse gases and acidification).

There was done data verification. The purpose of verification was done in order to control the information from producers (information, from which has been formed life-cycle of steel structures. The second level of verification was controlled by LCIA (results of LCIA were compared with comparable data from GEMIS database).

*Recommended for publication
of Editorial board*

Conclusion

There was done life-cycle of steel structures, which was done in Czech Republic, and its environmental impacts were considered. Within inventory analyzing from data of Czech iron and steel producer inventory matrix was formed. From inventory matrix quantification weighted environmental impacts were done (mineral raw material and water consumption, waste production, contributing to climate changes owing to radiation-active gases emissions (so-called greenhouse effect), contributing to origin of acid dry and wet atmospheric depositions (so-called acid rain), contributing to water eutrophization, contributing to increases in environmental toxicity). By obtained and calculated data verification was created.

References

- Kodymová, J. 2008. *Life-cycle steel structures assessment*, Thesis, VSB - TUO.
- Kodymová, J. 2008. *LCA analysis base materials (electric energy, heat, crude oil and oil products) made only from public information*, 12th international conference Environment and Mineral Processing & Exhibition, VSB - TUO.
- ČSN EN ISO 14040: *Environmental management – Life-cycle Assessment – Principles and Framework*, Czech Standards Institute, Prague, 2006
- ČSN EN ISO 14041: *Environmental management – Life-cycle Assessment – Goal and scope definition and inventory analysis*. 1998. Czech Standards Institute, Prague.
- ČSN EN ISO 14041: *Environmental management – Life-cycle Assessment – Examples of application of ISO 14042*. 2004. Czech Standards Institute, Prague.
- Integrated Pollution Prevention and Control - Reference Document on Economics and Cross-Media Effects*. 2005. European Commission, Spain.

ADAPTATION OF THE ADVANCE SYSTEM FOR KS-3M SHEARER ADAPTED FOR 295-842 RYBNIK CONVEYER

Iosif Dumitrescu¹, Adriana Zamora²

¹University of Petrosani, Romania, 332006 Petrosani, Universitatii

²University of Petrosani, Romania, 332006 Petrosani, Universitatii, e-mail: adrianazamora2001@yahoo.com

ABSTRACT. The paper presents technical solutions to correlate the function of KS-3M shearer with Rybnik 295/842 conveyer in order to observe Occupational Health and Safety requirements.

These machines, alongside of CMA-5H powered support make up a powered face complex used to extract coal in panel 4/seam 3/block VI in Paroseni Mine.

Key words: shearer, conveyer, correlation

ПРИСПОСОБЯВАНЕ НА СИСТЕМАТА ЗА НАПРЕДВАНЕ НА УНИВЕРСАЛНА ПОДКОПНА МАШИНА KS-3M, ЗА СЪВМЕСТНА РАБОТА С ТРАНСПОРТЪОР РИБНИК 295-842

Йосиф Димитреску¹, Адриана Замора²

¹Университет Петрошани, Петрошани, Румъния, 332006

²Университет Петрошани, Петрошани, Румъния, 332006, e-mail: adrianazamora2001@yahoo.com

РЕЗЮМЕ. Статията представя техническо решение относно съвместяването на функциите на универсална подкопна машина KS-3M и транспортъор Рибник 295/842, с цел спазване на изисквания за безопасност и здраве при работа. Тези машини заедно с механизирания крепеж CMA-5H съставляват забойната техника, използвана за изземване на въглищата в панел 4, пласт 3, блок VI в мина Паросени.

1. INTRODUCTION

KS-3M shearer alongside of Rybnik 295/842 conveyer, together with CMA-5H powered support make up a powered face complex used to extract coal in panel 4/seam3/block VI in Paroseni Mine.

The shearer's and conveyer's technical characteristics, as designed by the producers were not correlated, considering that they are of different make and come from different countries. Nevertheless, the two machines show some compatibility: the shearer's cutting capacity can be supported by the scraper conveyer; dimension wise, the shearer can be mounted on the conveyer, by suitable modifications, with no essential changes that might lead to diminishing their resistance characteristics; the conveyer's robust structure resists to approximately 24 tons weight of the shearer;

The main lack of correlation between the two lies in the fact that the conveyer is equipped with a for the guidance part, requiring a feed mechanism on the shearer with vertical driving gear (rack feed system), while the shearer is equipped with a calibrated chain feed mechanism, where the driving gear is horizontally mounted.

Moreover, at the driving and return ends of the conveyer the traction chain can not be fixed.

Therefore, the principal technical characteristics of the feed system had to be modified. The paper presents the technical

solution of adapting the KS-3M shearer feed system to the 295/842 Rybnik conveyer.

2. ADAPTING SHEARER'S FEED SYSTEM TO SCRAPER CONVEYER RYBNIK 295/842

Adaptation of the shearer feed system to the scraper conveyer, according to Fig. 1 lies in:

- design of captive guides, position 1 and 3. Guides are mounted on the shearer's reduction, that is the feed mechanism, towards the powered support (mined out space). This involves substitution of existing sliding captive guides on the shearer. The recently adopted solution does not require modification of the rack on the conveyer, therefore the solution of the producer is not modified, it being the path for the roller of the guidance;

- replacement of hydraulic cylinders (jacks) of the guidance skids from the face side with fixed elements, position 2, mounted on the reducer and position 4, mounted on the feed mechanism. The use of fixed elements removes the associated hydraulic circuit, the general hydraulic layout on the shearer is simplified, and the possibility of defaults is eliminated;

- design of traction chain fastening elements, at the two ends of the conveyer, position 5 at the end of the return end and position 6 at the driving end. This is necessary, since the conveyer, designed for a rack feed system, has no such elements.

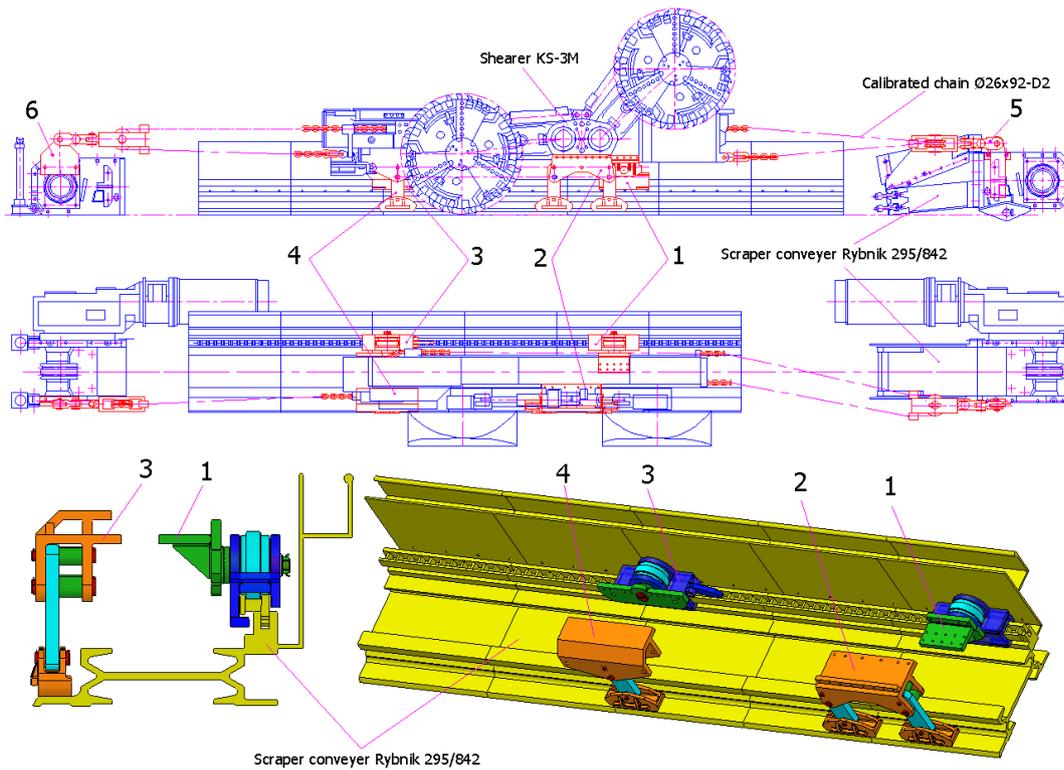


Fig.1. KS-3M feed system for Rybnik 295/842 conveyor

The overall design solution mounted on the shearer reducer towards the mined out space is given in Fig. 2. The main components of the guide are the roller support, the roller bolt,

the guide, the roller with its associated elements for mounting and sealing the rolling bearing.

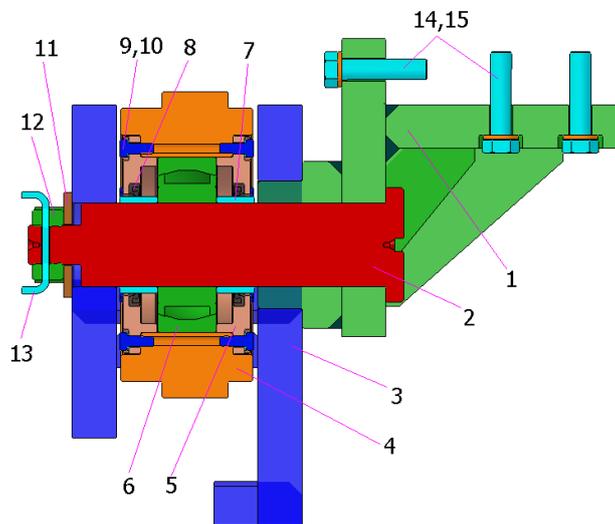


Fig.2. Overall solution for roller guide mounted on the reducer

The entire structure of the guide is mounted on the body of the principal reducer of the shearer by the roller, position 1, and fifteen M24x1000 screws and of Grower disks, positions 14 and 15. The roller support is a welded structure allowing its fastening to the reducer by one hundred M24 screws vertically mounted from the downside of the shearer and five screws horizontally mounted from the lateral side of the reducer. The use of 15 screws for fastening the guide is explained by the fact that it is mounted in the area where the larger weight of the

principal reducer is concentrated and of the driving reducers of the drums.

The guide components are assembled with a Ø95 bolt, position 2, ensured by the disk, position 11, an M45x3 nut, position 12, and a blocking wire of the nut, position 13. Due to the mounting conditions of the bearing, position 6, and spacer collar, the outside of the bolt is in k7 field of tolerance. The bolt rests on a the guide roller by a F8/k7 adjustment, position 3,

providing in the same time a captive guide, guiding the shearer on the conveyor.

The roller, position 4, representing the essential element in the structure of the guide, is equipped in the inside, by its cover, position 5, with a spacer, position 7, M12x30 screws and associated Grower disks, positions 9 and 10, oscillating

ball series 22319, position 6, and sleeve B110140, providing the lubricating room of the ball.

The overall design solution of the roller guide mounted on the feed mechanism of the shearer, towards the mined out space is shown in Fig. 3.

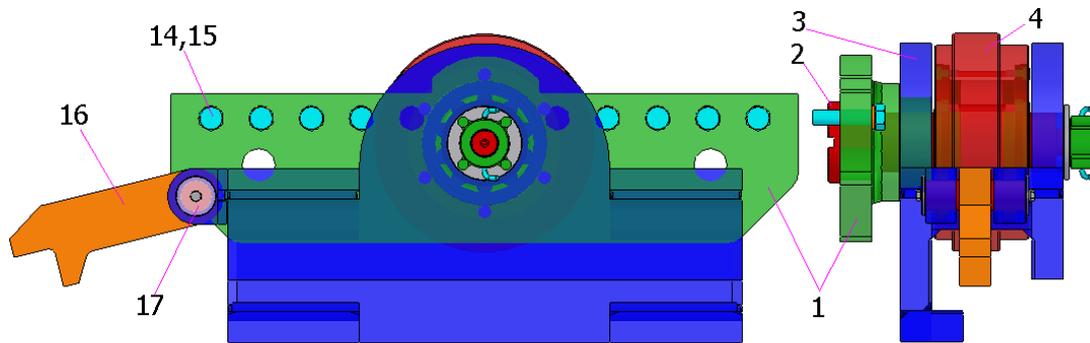


Fig.3. Overall solution for the roller guide mounted on the feed mechanism

The construction solution of the guide is identical to that of the roller guide mounted on the reducer, with two differences.

The first is connected to its fastening to the feed mechanism which has an other configuration and requires an other support type for the roller, position 1.

The support is fastened to the feed mechanism with ten M24 x 100 screws.

The second difference relates to the equipping of the guide with a click, position 16, mounted by a bolt, position 17, to the body of the guide, with safety role in the movement of the shearer.

Skid components at the face side, mounted to the shearer reducer, are presented in Fig. 4.a.

Modification of this movement system lied in replacing the two hydraulic cylinders (jacks) with two fixed linking plates, position 1, two types of spacers, positions 2 and 3, to make the structure rigid.

The other components of the system were kept, that is the reducer support, position 6, skids, position 7, Ø50 and Ø70 diameter bolts, positions 8 and 9, for which blocking wires were provided, positions 4 and 5.

Fig. 4.b gives the overall solution for the skid mounted to the feed mechanism.

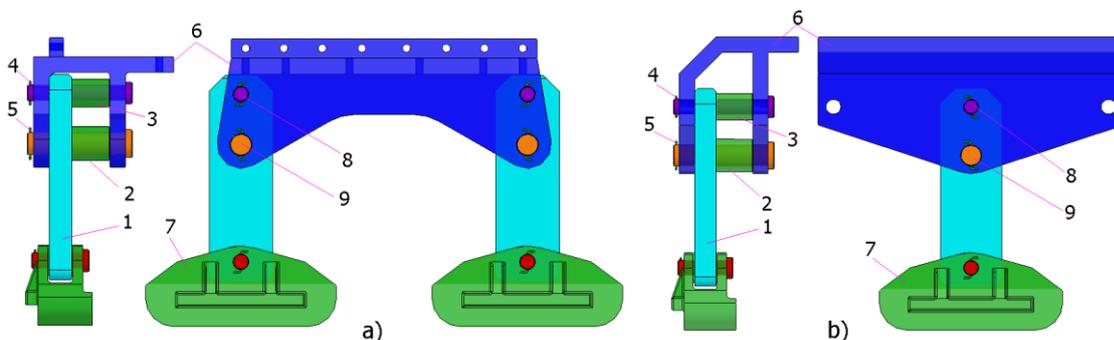


Fig.4. Modifications in the structure of the skid at the front mounted on the reducer and the feed mechanism

Fig. 5.a shows the overall solution for the modifications made at the connection between the feed mechanism chain and the metal structure of the return station of the conveyor.

The connection solution for the connection of the chain to TR-7A conveyor, position 1, verified in practice, is kept, but the linking plate was provided, position 2, mounted through two M36x200 screws, nuts and Grower disks, positions 3, 4 and 5, on the metal structure of the return station.

The element supporting the chain and ensuring change of direction is coupled with the linking plate through Ø74 bolt, position 6, provided by a blocking wire, position 7.

The overall solution of modifications made at the connection between the feed mechanism chain and the metal structure of the conveyor driving station is given in Fig. 5.b.

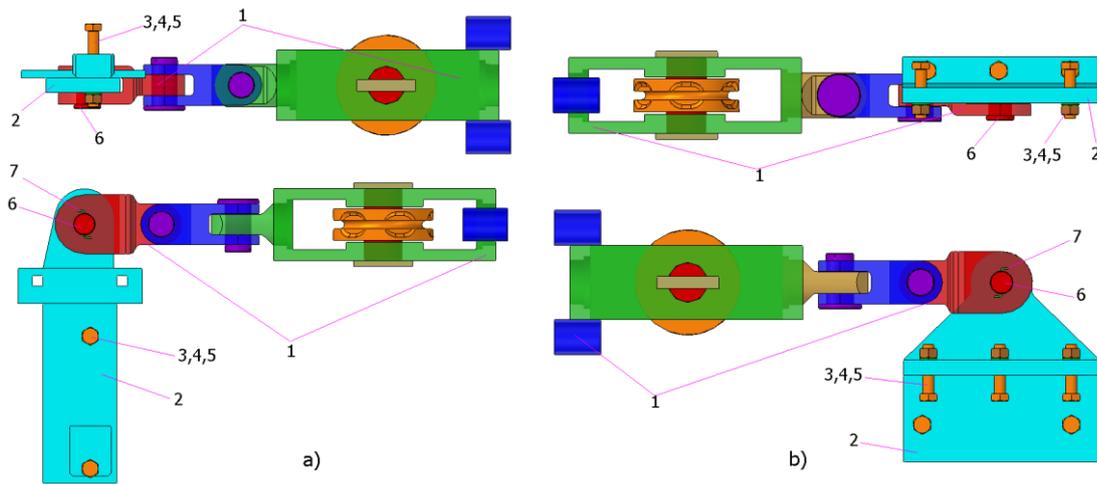


Fig.5. Design solution to link feed mechanism chain to conveyor driving station and conveyor return station

3. VERIFICATION OF THE SLIDE SUPPORT, ROLLER SLIDE AND BOLT ASSEMBLY

Feeding system elements were geometrically modeled by Solid Edge soft and analyzed by numerical method of finite element with COSMOS Design STAR soft, as it follows.

Fig.6 shows discretization, fixing and loading the assembly made up of slide support, which is fixed on the body of the shearer's reducer, roller slide and $\Phi 95$ bolt, making the roller support and the positioning of the latter and of the slide to the support.

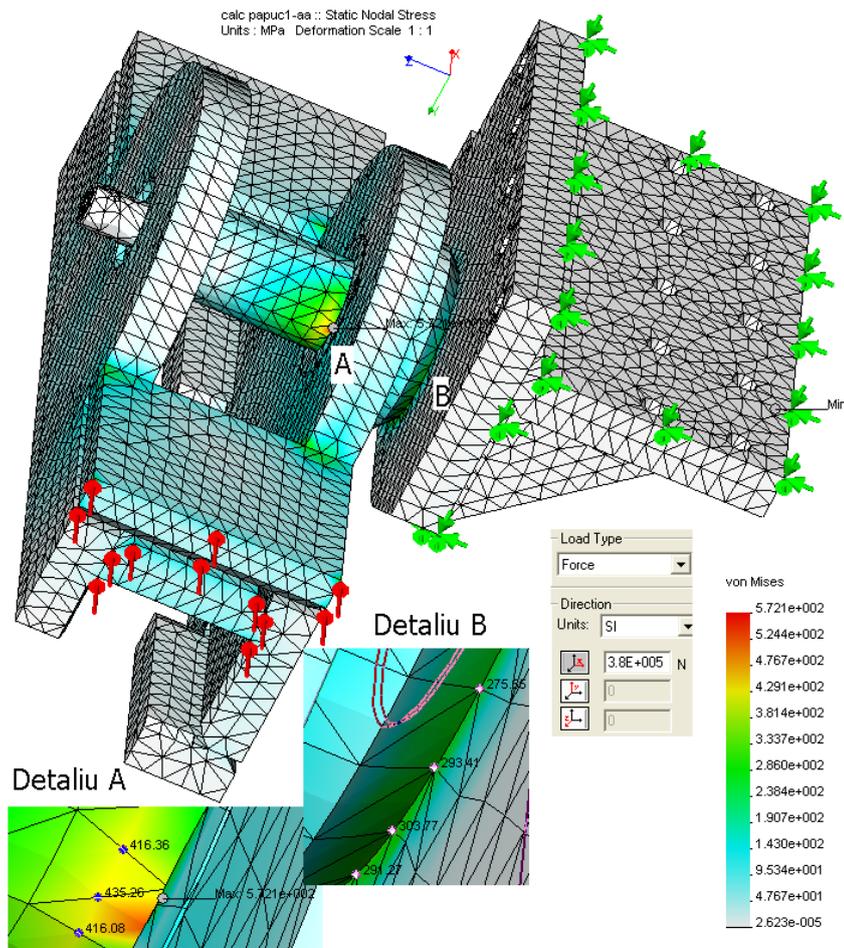


Fig.6. Verification of the slide support, roller slide and $\Phi 95$ bolt

The analysis was made for emergency, when the slide is blocked on the rack.

In this modelling, the bolt is tightened, therefore it takes over the transmission forces from the slide to the support, having in the bearing area a maximum pressure of 572,1 MPa (Detail A), and in the area of bearing - support a maximum pressure of 303,77 MPa (Detail B). These pressure values are not higher than resistances to tear.

4. CONCLUSIONS

The following conclusions resulted from the solutions developed to modify KS-3M shearer feed mechanism adapted to Rybnik 295/842 conveyer, used in Paroseni Mine face, panel 4, seam 3, block VI, slice 1, meeting occupational health and safety requirements:

- the feed system applied did not modify the technological operating and deployment parameters of KŞ-3M shearer and Rybnik 295/842 conveyer;

- the technical solutions meet health and safety requirements;

- replacement of sliding captive guides at the mined out space, applied for TR-7A conveyer with roller captive guides reduced friction in the guides and improved the power coefficient of the shearer used to cut coal;

- replacement of skid hydraulic jacks at the face side with fixed elements resulted in lower adjustment possibilities of the shearer position as to the conveyer, but it increased in the same time the reliability of the sliding skid movement system;

- the use of three sliding skids instead of two, as in the former feed system, contact pressure value between the skid and the , and the wear and shearer traction force, respectively, reduced;

- tension value in the component elements of the roller guide assembly of the KS-3M shearer feed system adapted to Rybnik 295/842 conveyer are no higher than tear resistance values.

The following design improvements are suggested, analyzing the technical solution found:

- roller without guide bed to remove double guidance on the rack (both by rollers and by captive guide);

- to improve mounting conditions for the roller in guidance and support, instead of the two spacer collars, a roller wide sleeve should be used where a radial-axial ball should be mounted, with 23222 barrel rollers, of higher dynamic capacity than the present ones;

- a centering bed should be implemented on the guide sleeve and a seating on the vertical plate to improve the positioning of the two elements and the way of force transmission from the roller guide to the support fixed to the shearer;

- welding some teeth to the periphery of the feed guide roller to clean the rack

REFERENCES

1. MUSCĂ G., *Proiectarea asistată folosind Solid Edge*, Editura Junimea, Iași, 2006.
2. MĂNESCU, T.Șt., ș.a. *Analiză structurală prin metoda elementului finit*, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2005.
3. * * * *Întocmirea documentației de execuție a sistemului de avans al combinei KŞ-3M în tandem cu transportorul Rybnik și certificarea soluției tehnice adoptate din punct de vedere al respectării cerințelor minime de securitate și sănătate în muncă*, Contract nr. 528/07.06.2007, E.M. Paroseni.

*Recommended for publication
of Editorial board*

ОТНОСНО ХИДРОАБРАЗИВНОТО ИЗНОСВАНЕ НА ЕЛЕМЕНТИ ОТ МЕХАНИЗАЦИЯТА ЗА ХИДРОТРАНСПОРТ НА ОТПАДЪЧЕН ПУЛП ОТ ОБОГАТИТЕЛНИТЕ ФАБРИКИ

Илия Йочев

"Рудметал" АД, 4960 гр. Рудозем

РЕЗЮМЕ. В доклада е изследван механизма на хидроабразивното износване. На база на известни аналитични и експериментални зависимости са определени факторите влияещи върху този вид износване. Извършени са експерименти в реални промишлени условия на системата за хидротранспорт на хвостохранилище „Рудозем – 2“. Разработен и внедрен е вариант за увеличаване на техническия ресурс на части от механизацията.

ABOUT HYDROABRASIVE DETERIORATION OF ELEMENTS OF MECHANISATION OF SYSTEMS FOR HYDROTRANSPORT OF A WASTE OF CONCENTRATING FACTORIES

Iliia Iochev

"Rudmetal" AD, 4960 Rudozem, Bulgaria

ABSTRACT. In the report the mechanism of hydroabrasive deterioration is surveyed. On base known analytical and experimental dependences, are defined factors which influence on hydroabrasive deterioration. Experiments and supervision in real industrial conditions on system for hydrotransport finding on storehouse for a waste of enrichment of minerals „Rudozem 2“ are made. The variant for increase to a technical resource of the cores has been developed and introduced are frequent mechanisation.

Увод

Хидротранспортът е процес, при който воден поток или поток на смес носи със себе си в тръбопровод продукти с малка едрина. В повечето случаи транспортирането се извършва чрез нагнетяване на хомогенната смес. Този вид транспорт намира широко приложение при транспорт на полезни изкопаеми (въглища, нефт, пясък, разтвори на соли и много други) от мястото на добиване към това на преработване или складиране на отпадъчни суспензии от обогатителните фабрики, сгуропепелни отпадъци от топло-електрическите централи и др. Средата, която се пренася представлява смес от вода (или други течни среди) и диспергирани частици на минерални продукти или наситнени твърди или влакнести материали с органичен или неорганичен произход.

Реализирането на хидротранспортна схема е възможно и при големи разстояния – до над 400 km (Самарко Бразилия) и масова производителност 12 000 000 t/год. В минно-обогатителните предприятия транспортната дължина обикновено е няколко десетки метра.

Този вид транспорт притежава следните основни предимства пред останалите видове:

- сравнително ниска себестойност на транспортиране;
- по-малки капитални разходи за построяване на системата;
- възможност за постигане на пълна автоматизация и непрекъсваемост на процеса;

зация и непрекъсваемост на процеса;

- малък брой на експлоатационния персонал;
- липса на отрицателно въздействие върху околната среда поради невъзможност за разсипване или разпрашаване на транспортираните продукти;
- безшумност и висока ефективност;
- минимална заемана територия за изграждане.

Един от основните недостатъци на хидротранспорта е същественото износване на отделните елементи – помпи, тръбопроводи, тръбна арматура и др. Освен това съществува опасност от утаяване на пренасяните частици, което води до затлачване на тръбопровода.

Процесът на износване на хидротранспортната система е много интензивен когато се транспортират отпадъчни пулпове от обогатителните фабрики поради наличието на кварцови частици, които притежават висока абразивност. В подобни случаи се налага употребата на облицовки от гума, полиуретан или други еластомери или брони от твърди сплави или базалтови продукти. Тези материали предотвратяват в значителна степен износването.

Подобни проблеми съществуват в процеса на флотация на полезни изкопаеми. Въпросът за намаляване на разходите за работни органи на обогатителните машини, както и за подмяна на елементи на системата за хидротранспорт на отпадъчните пулпове е постоянна задача пред минно-обогатителните дружества. Разходите за подмяна на износените части достигат до 50% от всички

експлоатационни разходи. Подобни данни са публикувани в различни източници (Смолдырев и Сафонов 1989) и др.

Същност на процеса на хидроабразивно износване

Под износване в техниката се разбира постепенното изменение на геометричните размери на детайлите в резултат на действието на силите на триене, което се съпътства с отделяне на материал от триещата се повърхнина и (или) с остатъчна деформация (Мърхов, 1991).

За детайли работещи в среда на абразивна хидросмес, основната причина за достигане на гранично състояние е механичното и по-точно абразивното износване без забележимо влияние на другите видове износване.

Абразивното износване е такъв процес, който се предизвиква при взаимодействие на определен детайл и твърди абразивни частици, в резултат на което по повърхността на детайла се образуват драскотини, резки и др. Обикновено частиците имат минерален произход – скални късчета полезно изкопаемо и др. Възможно е обаче твърдите абразивни частици да се получат и чрез отделяне на микрообемни от твърди наклепни частици от триещите се детайли или да са продукти от различни оксиди, образувани при износването. От минералните абразивни частици най-голяма твърдост имат кварцовите и поради тази причина те предизвикват най-интензивно износване.

Разглеждайки процеса на взаимодействие на износващата се повърхност и твърдите частици, М. М. Тененбаум приема, че за елементите на хидро-транспортната система е характерен механизъм на контакт, вследствие на което се появява хидроабразивно износване. При това интензивността на процеса силно се влияе от хидравличните характеристики на течението, физико-механичните свойства на абразивните частици и износваната повърхност, както и от динамиката на тяхното взаимодействие (Тененбаум, 1976).

Хидроабразивното износване според интензивността на протичането бива общо и местно. Общото хидроабразивно износване се характеризира с относителна гладкост на износваната повърхност, докато местното се развива като микронеравности с последващото им преобразуване в отвори с немалки размери – 1 – 5 ст. Общото хидроабразивно износване, според интензивността, е няколко пъти по-слабо от местното.

Разглеждайки механизма на хидроабразивното износване на детайли работещи в поток с абразивни частици, в най-общия случай трябва да се отчетат проявата на следните видове „чисто“ износване:

- разрушаването на метала чрез срязване;
- разрушаването в резултат на повторна пластична деформация;
- разрушаването вследствие на умора на материала;

- разрушаването в резултат на крехкост на материала.

Развитието на разрушаване в резултат на крехкост на материала се среща много рядко при хидроабразивното износване, понеже нормалната сила на взаимодействие на твърдите частици със стените на детайла е недостатъчна за поява на разрушаваща деформация превишаваща границата на провлачване на материала (а не на отделни микроструктури).

Обикновено не се развива и разрушаването в резултат на умора на материала поради високата интензивност на протичане на другите видове износване. По този начин следва да се отчитат основно два вида разрушаване – чрез микростружки и чрез отделяне на отделни микроструктури в резултат на първична или повторна пластична деформация. В най-общия случай двата основни вида износване протичат едновременно.

Интензивността на развитието на процеса на хидроабразивно износване се определя от масата и скоростта на абразивните частици, а също и от ъгъла под който те атакуват износваната повърхност.

Върху интензивността на процеса влияят също така износоустойчивостта на материала на износваната повърхност и абразивността на твърдите частици. Аналитичното определяне на стойностите на тези два фактора понастоящем е трудно. Съществуват зависимости, които дават само качествени резултати, но не и количествени. Ето защо определянето на стойностите на тези параметри се извършва по експериментален път. Подобни данни са публикувани в Гочиташвили и др. (1984). Също в този източник е изложена формула, чрез която се определя интензивността на износването на повърхността, т.е. загубата на маса на метал от единица износвана повърхност за единица време, предизвиквана от n -брой частици:

$$\Delta = \rho_T v_T^3 S (1 - S) d \cdot [f_1 (\sin 2\alpha - 2\mu \sin^2 \alpha) + f_2 \sin^2 \alpha] \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} \quad (1)$$

където ρ_T е плътността на твърдата фаза, kg/m^3 ;

v_T - скоростта на твърдите частици в момента на

удара им с износваната повърхност, m/s ;

S - обемната концентрация на пулпа;

d - диаметърът на твърдите частиците, m ;

f_1 и f_2 – коефициентите отчитащи якостните качества на износвания материал и абразивните свойства на частиците, s^2/m^3 ;

α – ъгълът между вектора на скоростта на твърдата частица и износваната повърхност, $^\circ$;

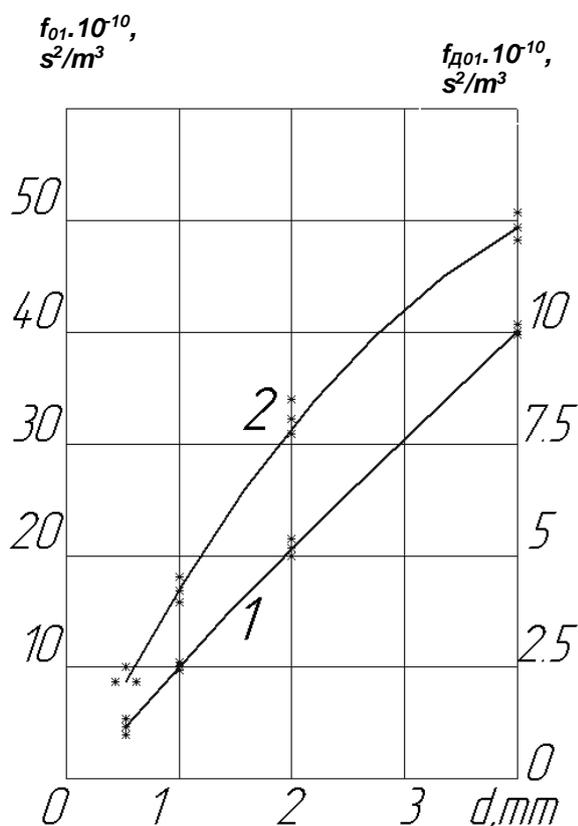
μ - коефициентът на триене при пързаялене между абразива и износваната повърхност.

Във формула (1) стойностите на коефициентите $f_1 = f_{01}/4$ и $f_2 = f_{д01}/2$ се определят опитно на струйно-ударна установка. Тези коефициенти са постоянни за определена взаимодействаща двойка (абразив и повърхнина) със

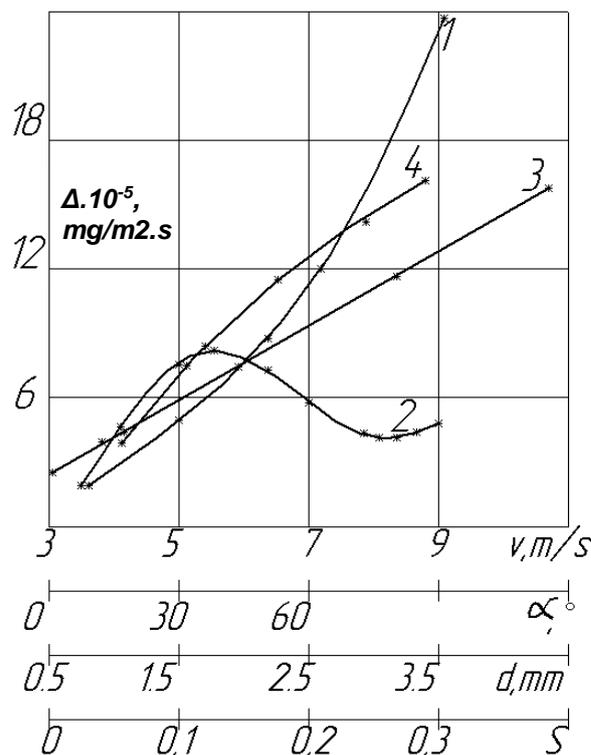
съответни физикомеханични свойства.

Достоверността на зависимост (1) е проверена експериментално като разликата в експерименталните и аналитичните резултати е в границите между 2 и 14%. На фиг. 1 и 2 са изобразени експерименталните зависимости публикувани в Гочиташвили и др. (1984).

Хидроабразивната износваща способност на твърдите частици е възприето да се представя чрез т.нар. коефициент на относителна хидроабразивност. Този показател значително се променя в зависимост от ъгъла, под който се атакува дадена повърхност. Затова при определяне на стойностите на относителната хидроабразивност за различни материали е необходимо да се съблюдава равенство на ъглите образувани от направлението на движение на потока от гидросмес и повърхността, която се износва.



Фиг. 1. Зависимости на абразивните способности на частиците от тяхната едрина. Крива 1- износван материал Ст3, абразив кварцов пясък, $Vt=6.5\text{m/s}$, $S=0.06$, $\alpha=12^\circ$. Крива 2 - износван материал 40X, абразив кварцов пясък, $Vt=6.5\text{m/s}$, $S=0.06$, $\alpha=90^\circ$



Фиг. 2. Зависимости на интензивността на хидроабразивното износване от скоростта (крива 1), ъгъла на атака на частиците (крива 2), едрината на частиците (крива 3) и концентрацията на сместа (крива 4)

В табл. 1 са дадени стойностите на коефициента на относителна хидроабразивност (публикувани в Гочиташвили 1980) за различни строителни и отпадъчни материали, транспортирани по тръбопроводи. Стойностите са усреднени за десетки обогатителни фабрики, ТЕЦ-ове, минно-обогатителни комбинати, кариери за инертни материали и др.

Таблица 1. Коефициенти на относителна хидроабразивност на различни абразивни материали К

№ по ред	Вид на абразивния материал	коефициент. К
1	Пясък за изпитване на цименти - еталон	1.00
2	Речен пясък 0-5mm	2.05
3	Чакъл 5-20mm	3.90
4	Ситен пясък 0.8mm	2.50
5	Натрошена шлака течна	1.20
6	Натрошена шлака твърда	0.50
7	Пепел	0.40
8	Шлакопепел 20% течна шлака + 80% пепел	0.80
9	Шлакопепел 20% твърда шлака + 80% пепел	0.50
10	Отпадък от обогатителна фабрика за въглища	0.40-0.90
11	Отпадък от обогатителна фабрика за руда	0.15-1.40

Коефициентът на износоустойчивост е параметър, характеризиращ способността на материала, от който е изработена износващата повърхност да се противопоставя на въздействието на абразивните частици, движещи се в течна среда. Колкото е по-висока стойността на този коефициент, толкова е по-устойчив определен материал. Данни за коефициента на износоустойчивост на различни конструкционни материали са публикувани в Гочиташвили (1980) и представени в табл. 2. При избор на материал за детайли подложени на хидроабразивно износване е необходимо да бъдат подбрани такива с възможно най-висок коефициент.

Върху хидроабразивното износване оказва влияние и дължината, на която се транспортира материала. В процеса на движението на пулпа (плъзгане и търкаляне) се изменят формата и едрината на частиците. Това определя значителното намаляване на абразивната способност с увеличаване на транспортното разстояние. Така например, при увеличаване на транспортната дължина от 0 до 20 km относителната хидроабразивност на частиците (за кварцов пясък, какъвто е основния отпадък от обогатителните фабрики) намалява с около 40%. При отпадък от каменни въглища този показател намалява с около 80%, а при натрошен варовик – с около 60%. Подобни данни са публикувани в Гочиташвили (1980), като изследванията са извършени в среда от химически неутрална вода.

Важен фактор, определящ относителната абразивност на частиците е тяхната плътност. Този фактор се увеличава с увеличаване на плътността им.

Таблица 2. Коефициенти на износоустойчивост на различни конструкционни материали K_i

№ по ред	Вид на материала	коефициент. K_i
1	Ст 3 еталон	1
2	Ст 5	1.10-1.15
3	Стомана 20	1.00-1.10
4	Стомана 40	1.30
5	Стомана 40Х	1.35
6	Стомана 25Г2	1.35
7	Стомана 3Х13	1,13
8	Стомана 30ХГСА	1.50
9	Стомана 55Л	1.08
10	Сив чугун Сч 28-48	0.50
11	Хроммолибденов чугун ИЧХ16МТ	3.30
12	Технически порцелан	6.50
13	Базалт	6.50
14	Меден шлак	10.00
15	Шперплат	1.00
16	Термоустойчиво стъкло	10.00
17	Полиуретан	3.00-8.00
18	Гума	3.00-6.00
19	Стъклоvlakно	2.90

Намаляване на степента на хидроабразивно износване за конкретен обект

Общо описание на обекта

Както беше споменато, на механизма на хидроабразивно износване оказват комплексно влияние множество фактори, определени от конкретните условия на работа. Изследването на този механизъм в лабораторни условия води до приблизително верни резултати и е трудно приложими за даден обект. Ето защо е подходящо проблемите свързани с хидроабразивно износване на елементи за хидротранспорт да се решават в промишлени условия за всеки конкретен случай.

На фиг. 3 е изобразена системата за хидротранспорт на отпадъчен пулп на хвостохранилище „Рудозем – 2”. Отпадъкът от обогатителния продукт достига гравитачно по бетонов канал да аванкамерата 1 с обем 2500m³. Посредством два помпени агрегата (работен и резервен) всеки един включващ два броя едностъпални центробежни бронирани помпи работещи в последователна схема. Помпите са с производителност 1250m³/h. Помпените агрегати осъществяват сумарен напор (геодезичен плюс съпротивлението на тръбопровода) 92m. Честотата на въртене на помпите от втора степен се регулират посредством турбосъединител. Бронирани шибърни кранове 3 служат за превключване на работния и резервния агрегат, както и за секционирание на работния 4 (базалтиран) и резервния 5 (стоманен) напорен тръбопровод. По-нататък пулпът постъпва в изливната шахта 6, откъдето посредством бетонов канал се отвежда до стената на хвостохранилището.

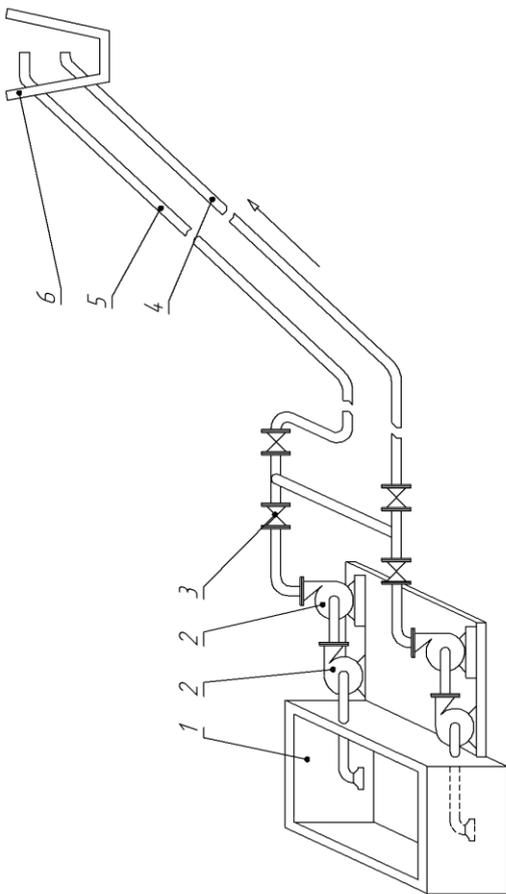
Основен проблем при експлоатацията на помпите е високата степен на хидроабразивно износване на следните елементи (фиг. 4):

- плоча предна;
- плоча задна;
- компенсатор входен и изходен.

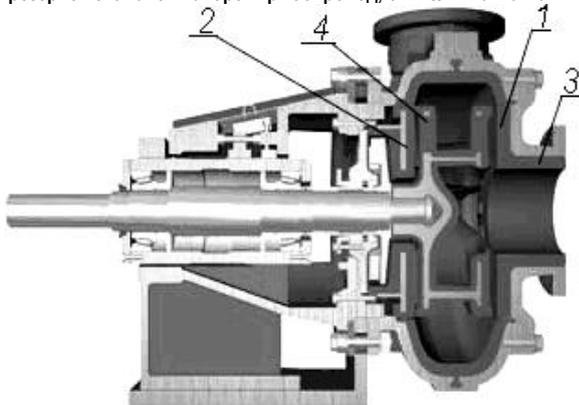
На силно износване са подложени и бронирани шибърни кранове – фиг. 5 .

Броните на помпите първоначално са произведени от полиуретан, а шибърите са изработени от стомана с твърдосплавно покритие.

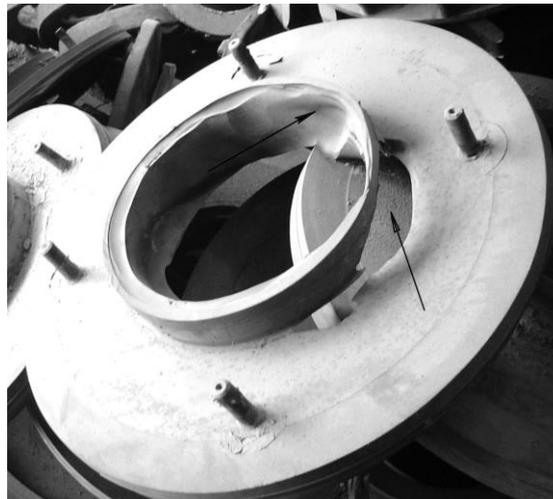
Високата степен на износване на споменатите елементи води до честата им подмяна, която е свързана със значителни разходи.



Фиг. 3. Схема за хидротранспорт на отпадъчен пулп на хвостохранилище „Рудозем-2“: 1- аванкамера, 2- бронирани помпи, 3- бронирани шибъри, 4 – работен базалтиран напорен тръбопровод, 5- резервен стоманен напорен тръбопровод, 6 – изливна шахта.



Фиг. 4. Бронирана центробежна едностъпална помпа: 1- плоча предна, 2- плоча задна, 3 – компенсатор входен (изходен), 4 – колело работно.



Фиг. 5. Добре изразено хидроабразивно износване на бронирани тяло (горе) и плоча предна (долу) на центробежна едностъпална помпа.

Изследване на възможностите за намаляване на интензивността на хидроабразивното износване на основните елементи на помпите от системата за хидротранспорт на хвостохранилище „Рудозем 2“

Във връзка с изложените по-горе аналитични и графични зависимости за интензивността на хидроабразивното износване е извършен анализ и са направени следните изводи за възможностите за влияние върху основните фактори определящи процеса (1):

- плътността на твърдата фаза – остава относително постоянна за определен технологичен режим;
- скоростта на твърдите частици – върху този фактор не може да се оказва влияние в момент на експлоатация на съоръжението и при определен дебит на отпадъчния пулп;
- обемната концентрация на пулпа – върху този фактор също не съществува възможност за въздействие;
- диаметърът на твърдите частици – определя се от технологията на обогатителния процес;
- ъгълът на вектора на скоростта на частиците и атакуваната повърхност – определя се от теченията и вихрите в съоръженията. Няма възможност за въздействие;
- коефициентът на триене при плъзгане – не може да се изменя;
- якостните качества на материала на износващите се повърхности – върху този параметър може да се влияе, като се променя вида на материала или качествата му.

За намаляване на износването е решение за изработване на брони за помпите, както и разработване на нов шибър с брони от гума. За вземането на това решение спомага обстоятелството, че в непосредствена близост до хвостохранилище „Рудозем 2“ се намира завод за каучукови смеси и изделия – „Хевей КИМ“ гр. Мадан. Така с помощта на специалисти от този завод са разработени два вида каучук (условно наречени K1 и K2) с различен химичен състав.

Изработени са матрици за най – износващите се части на помпите, както и е изработен шибър с бронирани износващи се части. Всички брони са изработени от двата вида каучукови смеси. В продължение на три години тези брони, както и оригиналните такива са подложени на изпитания в производствени условия. Броните от даден вид каучук се залагат на един помпен агрегат, като за елиминиране на каквито и да е различия в условията на експлоатация, през шест месеца броните от даден вид каучук сменят мястото си на монтаж върху съответния помпен агрегат. Работните часове стриктно се отчитат от апаратурата за управление на помпената станция.

Резултати от експериментите

В табл. 3 са обобщени резултатите от изследванията като са посочени и отработените часове за основните елементи на помпите преди внедряване на гумените брони.

Таблица 3. Резултати от експериментите при внедряване на гумирани работни органи на помпите

№ по ред	Наименование на детайла	Отработени часове до подмяна, h		
		Оригинална броня	Каучукова броня К1	Каучукова броня К2
1	Плоча предна	1005	1000	1800
2	Плоча задна	1835	1900	2100
3	Компенсатор	1920	2000	2520

От направените експерименти следват изводите:

- експлоатационният срок на оригиналните брони изработени от полиуретан е незадоволително кратък, имайки предвид тяхната цена;
- броните изработени от експериментална каучукова смес К1 имат сходен с оригиналните експлоатационен срок, но цената им е около пет пъти по - ниска;
- броните изработени от експериментална каучукова смес К2 имат значително по-дълъг експлоатационен срок от оригиналните при цена около четири пъти по – ниска;
- рационално е решението за окончателно преминаване към изработване на брони от каучукова смес К2, чийто химичен състав е показан в табл. 4. Изработването на броните и необходимата за това инструментална екипировка става изцяло в ремонтно–механичния цех на дружеството собственик на хвостохранилище „Рудозем 2”

Необходимо е да се подчертае, че с внедряването на каучуковите брони е постигнат значителен икономически ефект.

Основната разлика между химичния състав на възприетата каучукова смес спрямо други такива е високото съдържание на естествен каучук, който придава значителна еластичност и абразивоустойчивост на изделията.

Препоръчана за публикуване от катедра „Механизация на мините”, МЕМФ

Таблица 4. Химичен състав на каучукова смес К2

№ по ред	Вид на съставките	Тегловна част, kg
1	Естествен каучук	105.000
2	Сажди полски активни	47.000
3	Цинквайс	5.200
4	Стеарин	1.570
5	Пиролен	3.200
6	Асфалт	1.500
7	Мазут	4.000
8	Неозон „Д”	1.260
9	Вулкацит "Ц"	0.840
10	Дифенилгуаницин „ДФГ”	0.210
11	Сяра	2.300
12	ПВИ	0.430
13	Твърдост по Шор	65-70

Изводи

Всеки един конкретен случай на хидроабразивно износване се характеризира с комплексно влияние на множество фактори и е необходимо да се изследва отделно.

За дадено място, възможностите за въздействие върху механизма и степента на хидроабразивното износване са минимални. Един от възможните варианти е използването на материали с висока устойчивост на износване.

Използването на гумирани работни органи на елементите от хидротранспортните системи е приложимо в ремонтните цехове на обогатителните дружества, като по този начин е възможно постигане на висок икономически ефект определен от ниската цена на резервните части, по дългите експлоатационен и междуремонтен срок.

Литература

- Гочишвили Т. Ш., Алехин Л. А., Махарадзе Л. И., Сулаберидзе Д. Г. 1984. *Надежность и долговечность напорных гидротранспортных систем*. М., Недра.
- Гочиташвили Т. Ш. 1980. Исследование абразивных отходов промышленности предприятий. *Транспорт и складирование отходов производства*. Ленинград. 15-20.
- Мърхов Н. Б. 1991. *Поддържане и ремонт на минната механизация*. С., Техника, 63-65.
- Смолдырев А. Е., Ю. К. Сафонов. 1989. *Трубопроводный транспорт концентрированных гидросмесей*. М., Машиностроение, 28.
- Тененбаум М. М. 1976. *Сопротивление абразивному изнашиванию*. М., Машиностроение..

КОМПЮТЪРНА ПРОГРАМА ЗА ТЯГОВИ ИЗЧИСЛЕНИЯ НА МНОГОБАРАБАНИИ ЛЕНТОВИ ТРАНСПОРТЪОРИ С КРАЙНИ И МЕЖДИННИ ТОЧКИ НА ТОВАРЕНЕ

Цветан Дамянов

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, e-mail: zld47@mgu.bg

РЕЗЮМЕ: На базата на теорията за формиране и разпределение на теглителната сила при дву- и трибарабанните системи на задвижване на лентовите транспортъори е създадена програмна система за изчисляване на лентови транспортъори с крайно и междинно разпределение на точките за натоварване. Програмният алгоритъм отчита както разпределението на теглителната сила между задвижващите барабани, така и ограниченията по сцепление с лентата. Работата на програмата е илюстрирана с числен пример за реален транспортъор, експлоатиран в условията на Мина „Марица изток“ ЕАД

COMPUTER PROGRAM FOR CALCULATING THE DRIVING FORCE OF MULTI-DRUM BELT CONVEYERS WITH FINAL AND INTERIM POINTS OF LOADING

Tsvetan Damyanov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: zld47@mgu.bg

ABSTRACT. A program system for calculating belt conveyers with final and interim distribution of the points of loading has been designed based on the theory for forming and distribution of the driving force of two- and three-drum systems for driving belt conveyers. The algorithm of the program considers the distribution of the driving force as well as the boundaries of adhesion with the belt. The work of the program has been shown by a numerical example of a real belt conveyer, operated at the "Maritsa East" Mines EAD.

1. Увод

В работата ще бъде представена компютърната програма TSLD-2008, която е разработена на базата на програмен алгоритъм, приложно ориентиран към мощните многодвигателни, високопроизводителни лентови транспортъори. В него се отчитат някои специфични особености на този тип механични системи, като разпределението на натоварването между задвижващите барабани [л.3, Дамянов], кинематичната схемата на задвижващата станция, възможностите за работа с различни сили на предварително опъване на лентата и на броя и разположението на точките за натоварване.

Програмната система позволява да се автоматизира и увеличи многократно производителността на изчислителните процеси, които могат да се извършват при контролни и преизчислителни процедури на ГТЛ системите, когато се осъществява реконструкция или цялостна рехабилитация.

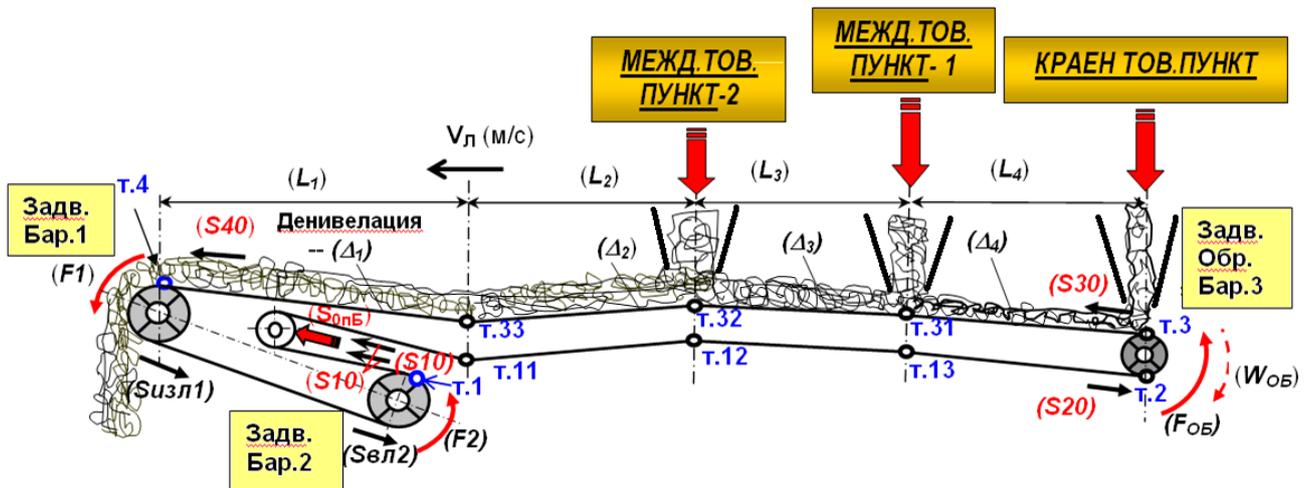
Използваната компютърната програма е създадена за провеждане на контролни изчисления на транспортъори с двудвигателна задвижваща система с цел получаване на техните основни технико-експлоатационни, силови и кинематични параметри. Програмата дава възможност да се определят силовите параметри (сили на опъване) във всички точки от контура на работния орган, консумираните мощности от задвижващите барабани, специфичният

енергоразход на транспортъора, като е възможно това да се става за различни характерни участъци от трасето без да отчита влиянието на еластично демпфериращите свойства на елементите в системата.

В конкретния случай програмата ще се използва за пресмятането на някой от основните параметри на примерен ГТЛ транспортъор, необходими за параметриране на механо-математичния модел и за показване на възможностите за сравнителна оценка на получените резултати и тези от симулационното моделно компютърно изследване при различни режими на работа и натоварване.

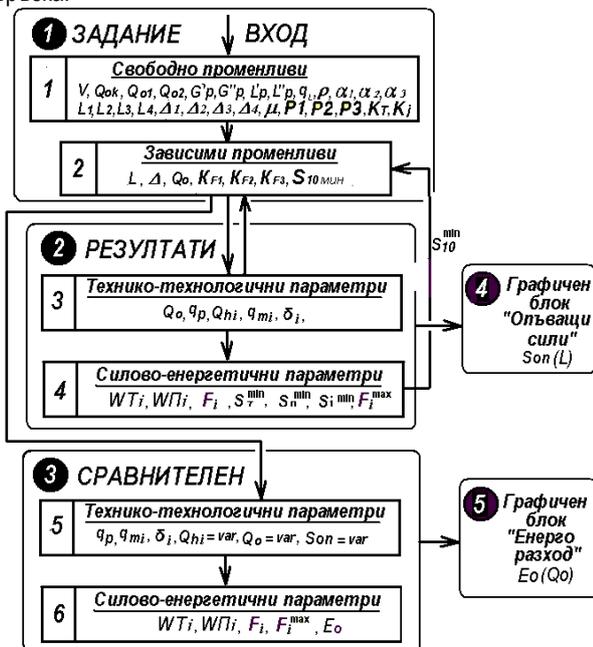
2. Структурни и функционални особености на програмния алгоритъм

Общият вид на транспортъор от описания тип е показан на фигура 1. Съгласно принципната схема могат да се параметрират от едн до три различни товаропотока в една крайна и две междинни точки на товарене и четири характерни участъка на трасето с различни дължини и наклони. Общата теглителна сила за движение на лентата се формира от два задвижващи барабана на двигателно-опъвателната станция и един задвижващ обръщателен барабан.



Фиг. 1 Принципа схема на лентов транспортър с трибарабанно задвижване и два междинни пункта за натоварване.

На фигура 2 е показана блоковата схема, която пояснява структурата на програмния алгоритъм, функциите на отделните модули и блокове на програмата и каналите за връзка.



Фиг. 2 Блокова схема на програмния алгоритъм

Описанието и изясняването на функциите на отделните структурно-функционални елементи ще бъде направено на базата на алгоритъма от фигура 2 и на програмните прозорци на отделните модули от фигура 3 и фигура 4.

Гравизни модули:

Програмата е развита във файлов формат на **Microsoft Excel** чрез следните четири модула:

- Входящ модул „Задание” - ред 1 – 36, фиг.3;
- Модул „Резултати” ред 1 – 92, фиг.4;
- Модул „Сравнителен”;
- Графични блокове „Дијаграми” – Опъващи сили - фиг.5 и Специфичен енергоразход - фиг.6;

Аритметично-логически особености на програмния алгоритъм

1. Работното разпределение на двигателните мощности между задвижващите барабани става съобразно

фактора на разпределение на инсталираните мощности. Отчита се условието, че този машинен агрегат работи като многодвигателна система, при която всички двигатели са куплирани към общ вал [1], [2];

2. Денивелацията се определя като разлика в котите на крайната точка 4 и началната точка 3 по посока на движението на лентата според профила на трасето на транспортъра от схемата;

3. Разпределението на тангенциалните теглителни сили, създавани от задвижващите барабани е различно и алгоритъмът на програмата отчита, както влиянието на инсталираната двигателна мощност на отделните барабани, така и загубите от триене и огъване при преминаването на лентата около съответния задвижващ или опъвателен барабан [3];

4. Повишеното натоварване от действие на инерционните сили и моменти при пусковия режим спрямо стационарния са отчетени в съответствие с нормите на DIN 22101 [4];

5. Оценката на специфичния разход на електроенергия е извършен според нормите на DIN 22101 в абсолютни единици – $E_0 = f(Q_0)$, [kWh/t km]

6. С цел гарантирането на достатъчен запас от теглителна сила на задвижващите барабани, както в стационарен така и в пусков режим програмният алгоритъм и методиката за изчисление са базирани върху завишени стойности (горните гранични) на коефициента на съпротивление при движение;

Функционални особености:

• Модул „Задание” дава възможност за параметриране на всички необходими изходни променливи свързани с характеристиките на трасето, двигателните мощности на отделните барабани, геометрични параметри на същите барабани, физикомеханични характеристики на материала, силата на опъване от опъвателния барабан и др. Характерна особеност на този модул е, че позволява диференцирано задаване на параметрите (дължина и наклон) на различните характерни участъци от трасето, които за програмата са три. Предвидени са защитни блокиращи функции срещу грешно въведени стойности.

• Модул „Резултати” представя таблично получените крайни резултати за три работни режима – стационарен, пусков при една и съща стойност на силата на опъвателния барабан и пусков с 30% повишена

стойност на силата на опъване. При нарушаване на ограничението по сцепление между лентата и някой от задвижващите барабани, което е предпоставка за приплъзване и аварийен режим, програмата извежда съобщение в клетка на активния фрикционен ъгъл на съответния барабан. Такова паралелно представяне на резултатите позволява много бързо да се направи сравнителна оценка на стационарния и

пусков режим при дадените входящи параметри.

• Чрез модула **“Диаграми-Енергоразход”** се визуализира графично функцията относителен енергоразход от обемна производителност $E_0 = f(Q_0)$, която позволява да се извършват анализи и направят много важни изводи относно влиянието на различни фактори върху енергийната ефективност на различните технико-

№	ГТЛ 1301	ПАРАМЕТРИ	Мярка	Стойност	КОНТРОЛ
1	L	Обща дължина	m	1470	
2	Δ	Денивелация м/у крайните точки	m	35,00	
3	V	Скорост на движение	m/s	5,74	OK
4	Q_{0k}	Обемна производителност на краен ТП	m^3/h	4000	OK
5	Q_{01}	Обемна производителност на межд.ТП1	m^3/h	0	OK
6	Q_{02}	Обемна производителност на межд.ТП2	m^3/h	0	OK
7	Q_0	Обща обемна производителност на ГТЛ	m^3/h	4000	
8	ρ	Плътност на материала	T/m^3	1,28	OK
9	$G'p$	Тегло на върт. част от горна ролка	H	1020	OK
10	$I'p$	Горно междуролково разстояние	m	1,20	OK
11	$G''p$	Тегло на върт. част от долна ролка	H	820	OK
12	$I''p$	Долно междуролково разстояние	m	6,00	OK
13	q_L	Линейно тегло на лентата	H/m	1070	OK
14	w'_0	Коеф. съпр. при движ. гор.клон	-	0,030	OK
15	w''_0	Коеф. съпр. при движ. дол.клон	-	0,030	OK
16	α_1	Ъгъл на обхват на I з. бар.	градус	167	OK
17	α_2	Ъгъл на обхват на II з. бар.	градус	185	OK
18	α_3	Ъгъл на обхват на III з. бар.	градус	180	OK
19	μ	Коеф. триене - (задв.бар.-лента)	-	0,33	OK
20	$P1$	Инсталирана мощност на I з. бар.	$квт$	2000	OK
21	$P2$	Инсталирана мощност на II з. бар.	$квт$	1000	OK
22	$P3$	Инсталирана мощност на III обр.з. бар.	$квт$	1000	OK
23	Δ_1	Денивелация на I характерен у-к(L1)	m	5	
24	Δ_2	Денивелация на II характерен у-к(L2)	m	15	
25	Δ_3	Денивелация на III характерен у-к(L3)	m	15	
26	Δ_4	Денивелация на IV характерен у-к(L4)	m	0	
27	L_1	Дължина на I характерен у-к (L1)	m	30	OK
28	L_2	Дължина на II характерен у-к (L2)	m	480	OK
29	L_3	Дължина на III характерен у-к (L3)	m	480	OK
30	L_4	Дължина на IV характерен у-к (L4)	m	480	OK
31	$S_{10\text{ мин}}$	Минимална опъваща сила на лентата	H	114 352	
32	K_T	Коефициент на резерв от тегл сила	-	1,00	
33	K_i	Динамичен фактор при потегляне	-	1,3	OK
34	K_{F1}	Фактор на разпределение на мощността на I з. бар	-	0,500	
35	K_{F2}	Фактор на разпределение на мощността на II з. бар	-	0,250	
36	K_{F3}	Фактор на разпределение на мощността на III з. бар	-	0,250	

Фиг. 3 Текстов прозорец на входящ модул „Задание”

експлоатационни варианти като:

- Схема на разпределение на инсталираната мощност към задвижващите барабани;
- Брой на задвижващите барабани;
- Сила на опъване на лентата;

• Модул **„Сравнителен”** систематизира крайните изчислителни резултати на програмата, които се получават при вариране на променливата Q_0 – обемна производителност с различни стойности. Това е възможно, тъй като в модула има свободни клетки (функционално несвързани с модул **Задание**) т.е. отключени клетките от

ред 4 в програмния код. С функциите на този модул са разширени в много голяма степен възможностите на програмата за провеждане на изследвания с многофакторни анализи и получаване на оптимизационни решения както по отношение на инсталираните двигателни мощности, силата създавана от опъвателния барабан, а така също и на възможната най-голяма производителност. На фигура 2 е показан входящият модул на програмата, от който се параметрират всички променливи входни величини, както електро-механични параметри така и параметри на трасето в план и профил.

На следващата фигура 3 са показани в табличен вид резултатите от работата на изчислителния модул на програмата, които съдържат всички основни силови, кинематични и електро-механични параметри в различни

характерни точки на транспортъора. Тези стойности са получени за реални входни величини на транспортъор с дължина 1470 м, производителност 4000м³/ч и денивелация - 35 м и ще бъдат използвани по-нататък.

	Единица	Параметри	Мярка	Установен	Пусков	Пусков с 130%
1	L	Дължина на трасето	m	1 470	1 470	1 470
2	V	Скорост на движение на лентата	m/s	5,74	5,74	5,74
3	Q _{ок}	Обемна производителност на краен ТП	m ³ /h	4 000	4 000	4 000
4	Q _{о1}	Обемна производителност на межд.ТП1	m ³ /h	0	0	0
5	Q _{о2}	Обемна производителност на межд.ТП2	m ³ /h	0	0	0
6	Q _о	Обща обемна производителност на Г.ТП	m ³ /h	4 000	4 000	4 000
7	ρ	Плътност на материала	t/m ³	1,28	1,28	1,28
8	δ _{ср}	Среден ъгъл на наклон на трасето	grad	1,36	1,36	1,36
9	G _р	Тегло на горна ролка	N	1 020	1 020	1 020
10	Г _р	Горно междуролково разстояние	m	1,20	1,20	1,20
11	q _р	Линейно тегло на горна ролка	N/m	850	850	850
12	G _д	Тегло на долна ролка	N	820	820	820
13	Г _д	Долно междуролково разстояние	m	6,00	6,00	6,00
14	q _д	Линейно тегло на долна ролка	N/m	136,67	136,67	136,67
15		Коеф. на редуцир. при наклон тран		1	1	1
16	Q _{м.к}	Масова производ. на краен ТП	t/h	5 043	5 043	5 043
17	Q _{м1}	Масова производ. на межд.ТП1	t/h	0	0	0
18	Q _{м2}	Масова производ. на межд.ТП2	t/h	0	0	0
19	Q _м	Обща масова производителност на Г.ТП	t/h	5 043	5 043	5 043
20	q _{м.к}	Линейно тегло на товара от краен ТП	N/m	2 394	2 394	2 394
21	q _{м1}	Лин. тегло. на тов. от кр.ТП + межд.ТП1	N/m	2 394	2 394	2 394
22	q _{м2}	Лин. тегло на тов. от кр.ТП + межд.ТП1+ТП2	N/m	2 394	2 394	2 394
23	q _л	Линейно тегло на лентата	N/m	1 070	1 070	1 070
24	w _{T0}	Коеф. съпр. при движ. гор.клон	-	0,030	0,030	0,030
25	δ ₁	Ъгъл на наклон на I характ. уч.(L1)	grad	9,431	9,431	9,431
26	δ ₂	Ъгъл на наклон на II характ. уч.(L2)	grad	1,790	1,790	1,790
27	δ ₃	Ъгъл на наклон на III характ. уч.(L3)	grad	1,790	1,790	1,790
28	δ ₄	Ъгъл на наклон на IV характ. уч.(L4)	grad	0,000	0,000	0,000
29	L ₁	Дължина на I характерен у-к (L1)	m	30	30	30
30	L ₂	Дължина на II характерен у-к (L1)	m	480	480	480
31	L ₃	Дължина на III характерен у-к (L1)	m	480	480	480
32	L ₄	Дължина на IV характерен у-к (L4)	m	480	480	480
33	WT ₁	Съпр. на гор. кл. от I хар.уч.(L1)	N	20 921	27 198	27 198
34	WT ₂	Съпр.на гор. кл. от. II хар.уч.(L2)	N	114 019	148 224	148 224
35	WT ₃	Съпр.на гор. кл. от III хар.уч.(L3)	N	114 019	148 224	148 224
36	WT ₄	Съпр.на гор. кл. от IV хар.уч.(L4)	N	62 137	80 779	80 779
37	WT	Съпр.при движ. гор.клон - общо	N	311 096	404 425	404 425
39	w _{T0}	Коеф. съпр. при движ. на дол.кл.	-	0,030	0,030	0,030
40	WT ₁	Съпр.при дв.на дол.кл.I хар.уч.(L1)	N	-4 200	-2 940	-2 940
41	WT ₂	Съпр.при дв.на дол.кл.II хар.уч.(L2)	N	1 337	1 738	1 738
42	WT ₃	Съпр.при дв.на дол.кл.III хар.уч.(L3)	N	1 337	1 738	1 738
43	WT ₄	Съпр.при дв.на дол.кл.IV хар.уч.(L4)	N	17 380	22 594	22 594
44	WT	Съпр.при дв.на дол.кл.(вразен)-общо	N	15 854	23 130	23 130
46	K ₁	Коеф.на съпр. на обр.и оп.бар.	-	0,040	0,040	0,040
47	α _з	Ъгъл на обхват на обр. бар. (III з.б.)	grad	180	180	180
48	W _{оп}	Съпр. на опъвателен барабан	N	9 148	11 786	11 786
50	α ₁	Ъгъл на обхват на I з. бар.	grad	167	167	167
51	α ₂	Ъгъл на обхват на II з. бар.	grad	185	185	185
52	α _в	Ъгъл на обхват на III з. бар.	grad	180	180	180
53	μ	Коеф. на триене - (зав.бар.-лента)		0,33	0,33	0,33
54	KT ₁	Максимален тягов фактор на I з. бар.		2,62	2,62	2,62
55	KT ₂	Максимален тягов фактор на II з. бар.		2,90	2,90	2,90

56	<i>K_{T3}</i>	Максимален тягов фактор на III з. бар.		2,82	2,82	2,82
58		Миним. опъваща сила по сцепл. на Бар.2 Sor2		114 352	147 319	147 319
59		Миним. опъваща сила по сцепл. на Бар.2 Sor2		47 302	61 857	61 857
60		Миним. опъваща сила по сцепл. на Бар.1 Sor1		38 378	50 188	50 188
61		Коефициент на резерв от тегл. сила		1,00	1,00	1,00
62	<i>S₁₀</i>	Сила на опъване на лентата в т.1	<i>N</i>	114 352	147 319	147 319
63	<i>S₂₀</i>	Сила на опъване на лентата в т.2	<i>N</i>	139 354	182 234	182 234
64		Граница по провисване на празна лента	<i>N</i>	32 100	32 100	32 100
65	<i>S₃₀</i>	Сила на опъване на лентата в т.3	<i>N</i>	53 219	69 595	69 595
66		Граница по провисване на натоварена лента	<i>N</i>	20 785	20 785	20 785
67	<i>S₃₁</i>	Сила на опъване на лентата в т.31	<i>N</i>	115 356	150 373	150 373
68	<i>S₃₂</i>	Сила на опъване на лентата в т.32	<i>N</i>	229 375	298 597	298 597
69	<i>S₃₃</i>	Сила на опъване на лентата в т.33	<i>N</i>	343 393	446 822	446 822
70	<i>S₄₀</i>	Сила на опъване на лентата в т.4	<i>N</i>	364 315	474 019	474 019
71	<i>W₃₅₁</i>	Съпр. на I задв. барабан	<i>N</i>	21 859	28 441	28 441
72	<i>W₃₅₂</i>	Съпр. на II задв. барабан	<i>N</i>	12 745	16 489	16 489
73	<i>W₀₅</i>	Съпр. на обръщ. бар. (III задв. бар)	<i>N</i>	8 361	10 934	10 934
74	<i>F₀</i>	Сум. тангенц. тегл. сила (I+II+III задв. бар)	<i>N</i>	359 645	470 310	470 310
75	<i>F₂</i>	Тангенц. тегл. сила на II задв. барабан	<i>N</i>	89 911	117 578	117 578
76	<i>F_{2 lim}</i>	Гранична по сцепл. тегл. с. на II задв. бар.	<i>N</i>	217 359	280 022	280 022
77	<i>α₂₀</i>	Активен ъгъл на II задв. бар.	<i>grad</i>	101	102	102
78	<i>S₀₁</i>	Тегл. влизаща сила на II задв. барабан	<i>N</i>	204 263	264 896	264 896
79	<i>F₁</i>	Тангенц. тегл. сила на I задв. барабан	<i>N</i>	179 822	235 155	235 155
80	<i>F_{1 lim}</i>	Гранич. по сцепл. тегл. с. на I задв. бар.	<i>N</i>	329 938	427 876	427 876
81	<i>α₁₀</i>	Активен ъгъл на I задв. бар.	<i>grad</i>	100	101	101
82	<i>S₀₁</i>	Тегл. излизаща сила I задв. барабан	<i>N</i>	204 263	264 896	264 896
83	<i>F₃</i>	Тангенц. тегл. сила на III задв. барабан	<i>N</i>	89 911	117 578	117 578
84	<i>F_{3 lim}</i>	Гранич. по сцепл. тегл. с. на III задв. б.	<i>N</i>	96 778	126 557	126 557
85	<i>α₃₀</i>	Активен ъгъл на III задв. бар.	<i>grad</i>	167,13	167,13	167,13
86	<i>N₀</i>	Обща задвижваща мощност	<i>kW</i>	2 501	3 267	3 267
87	<i>N₁</i>	Мощност на I задв. барабан	<i>kW</i>	1 250	1 634	1 634
88		Ограничение по мощност на I задв. барабан	<i>kW</i>	1 880	1 880	1 880
89	<i>N₂</i>	Мощност на II задв. барабан	<i>kW</i>	625	817	817
90		Ограничение по мощност на II задв. барабан	<i>kW</i>	940	940	940
91	<i>N₃</i>	Мощност на обр. бар. (III задв. бар.)	<i>kW</i>	625	817	817
92		Ограничение по мощност на обр. бар. (III з.б.)	<i>kW</i>	940	940	940
93	<i>E₀</i>	Относителен енергоразход	<i>kWh/tkm</i>	0,337	0,441	0,441

Фиг. 4 Текстов прозорец на модул „Резултати“

Характерно за входящия модул е наличието на група клетки (3-6, 8-30 и 32-33 – фиг. 3), в които могат да се дефинират геометрични, физико-механични, технически и технологични параметри. Контролът за достоверност на стойностите се осъществява с логически функции, които извеждат в колоната „контрол“ съобщение за грешка при невалидна стойност. В същия модул на ред 31 се връща изчислената стойност на минималната гранична опъваща сила в лентата според условието за сцепление със задвижващите барабани.

В табличен вид на фигура 4 са представени всички изчислени стойности на следните величини:

- Минимални гранични стойности на начално опъване на лентата по ограничението за сцепление на трите задвижващи барабана – ред 58-60 фиг. 4 ;
- Силите на опъване за характерните точки от контура на лентата – ред 58-60 фиг. 4 ;
- Минимални гранични стойности за допустимо провисване на лентата от товарния и празен клон – ред 64 и 66, фиг. 4 ;
- Тангенциалните теглителни сили и техните максимални гранични стойности на трите задвижващи барабана по ограничението за сцепление с лентата – ред 75, 76, 79, 80, 83 и 84, фиг. 4 ;

- Общата и на отделните двигатели консумирана механична задвижваща мощност, както и ограничението по инсталирана мощност – ред 86 - 92, фиг. 4 ;

- Относителен енергоразход – ред 93, фиг. 4 ;

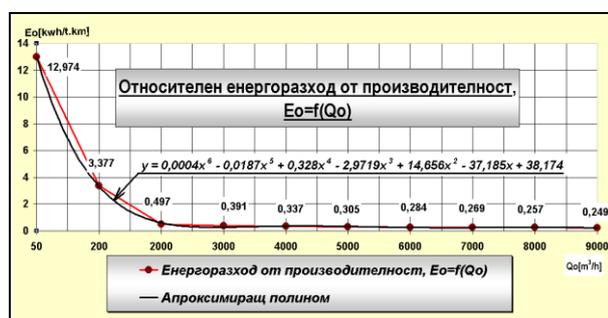
Характерно за този модул е, че той извършва всички изчисления за стационарен режим и пусков с неизменна сила на опъване и пусков с 30% увеличена опъваща сила.

3. Резултати от приложението на програмата за пресмятане на числен пример с параметри на транспортър ГТЛ 1301 – Мини „Марица изток“ ЕАД .

В числения пример са въведени техническите параметри на един от най-мощните трибарабани транспортъри при реален часов товаропоток в крайната точка на натоварване $Q_0 = 4000 \text{ m}^3/\text{h}$ и схема на инсталираната мощност (2 Мвт/1 Мвт/ 1 Мвт). За тези параметри е получена минимална сила на опъване на лентата в т.10 (фиг.1) $S_{10} = 114 \text{ kN}$, за която програмата е изчислила силите на опъване за характерните точки от контура на лентата и представила графично диаграмата за установен и пусков режим на фигура 5.



Фиг. 5 Диаграма на силите на опъване в лентата за характерните точки от контура при стационарен и пусков режим.



Фиг. 6 Диаграма на специфичния енергоразход във функция от товаропотока.

По подобен начин е построена чрез графичния блок „Енергоразход“ и диаграмата на изменение на специфичния енергоразход от товаропотока – $E_o = f(Q_o)$, показана на фигура 6. При намаляване на товаропотока под 2000 м³/ч се наблюдава много стръмно нарастване на специфичния енергоразход за условията, при които работи транспортър ГТЛ 1301.

Препоръчана за публикуване от кат. „Механизация на мините“, МЕМФ

4. Заключение

Създадената програма за тягови изчисления на многобарабани лентови транспортъри с крайни и междинни точки на товарене притежава многофункционални възможности, които позволяват да се извършват автоматизирани изчисления на технико-експлоатационните и силови параметри както при проектиране на нови, така и при реконструиране на съществуващи системи.

Могат да бъдат направени следните изводи:

- Програмният алгоритъм позволява да се варират основните параметри и да се решават аналитично задачи за минимизиране на специфичния енергоразход и силата на опъване в лентовия работен орган;

- На базата на резултатите получени чрез модулите „Резултати“ и „Сравнителен“ е възможно графично представяне и на други функции, различни от показаните на фиг.5 и фиг.6.

Литература

1. Дамьянов, Цв.Л. и др. Експериментално изследване и анализ на технико – експлоатационното състояние на ГЛТ 2250 №2 на рудник „Трояново -1“ за условията на „Мини Марица Изток“ ЕАД, Отчет по дог. 1905 на НИС – МГУ и Мини „Марица Изток“ ЕАД, 2008 г.
2. Дамьянов Цв., Относно разпределението на мощностите между задвижващите барабани при двубарабанните лентови транспортъри, МГУ "Св. Иван Рилски", Годишник, том 49, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2006, стр. 38-42
3. Дзяков В.А., Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г., Ленточные конвейеры в горной промышленности, М. Недра, 1982
4. DIN 22101 Entwurf, Gurtfoerderer fur Schuttgut Grundlagen fuer die Berechnung und Auslegung, August 20C Weissdruck, August 2002.

СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА АНАЛИТИЧНИТЕ И CAD-CAE МЕТОДИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА КОНТАКТНИТЕ НАПРЕЖЕНИЯ В САЧМЕНИТЕ ТЪРКАЛЯЩИ ЛАГЕРИ, ИЗПОЛЗВАНИ ПРИ МИННИТЕ РОТОРНИ БАГЕРИ

Цветан Дамянов¹, Николай Дичев²

¹Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, e-mail: zld47@mgu.bg;

²FAM-България, София, e-mail: nddichev@yahoo.com

РЕЗЮМЕ. Изследвани са аналитично контактните напрежения между сачмите и лагерните гривни от опорния кръг на багер SRs 2000 експлоатиран в условията на Мини „Марица изток“ ЕАД. Получените резултати са сравнени с тези от извършения CAD-CAE анализ на същия обект. Направени са изводи относно възможностите за използване на двата метода за изчисления при ремонт и реконструкция на изследваната лагерна опора.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ANALYTICAL AND CAD-CAE METHODS FOR DETERMINATION OF CONTACT STRESS IN THE ROLLING BEARING USED FOR ROTOR MINING EXCAVATORS

Tsvetan Damyanov¹, Nikolay Dichev²

¹University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: zld47@mgu.bg

²FAM-Bulgaria, Sofia, e-mail: nddichev@yahoo.com

ABSTRACT. This article deals with analytical way of analysis of contact stresses between the balls and bearing rings for supporting base of excavator SRs 2000 operated under the conditions of Mini Maritsa Iztok EAD. The results were compared with those from the CAD-CAE analysis on the same problem. The results are compared and there are conclusions about the possibilities of using both methods of calculation in the repair and reconstruction of the excavator support.

Увод

В открития добив на полезни изкопаеми много често се използват добивно транспортни системи с непрекъснато действие. В най-голямото минно предприятие за открит въгледобив у нас тези системи са развити на базата на мощни високопроизводителни роторни багери от серията SRs 2000. В конструкцията на багерите от този вид между механичните части от горния и долен багерен строеж има един елемент, който представлява лагерна опора, изградена като аксиален търкалящ се сачмен лагер. Тази лагерна опора (опорен кръг) позволява ротационно движение между двете части на багера, като понася голямо статичното и динамично натоварване при работа на машината. Експлоатационната сигурност на цялата машина зависи в голяма степен от правилното оразмеряване на елементите на опорния кръг, което може да стане ако се познава добре големината и разпределението на напреженията в областите на контакт при търкаляне на сачмите в каналите на лагерните гривни.

Предпоставки

В теорията и практиката оразмеряването на този тип лагери става по методики, основаващи се на теорията на

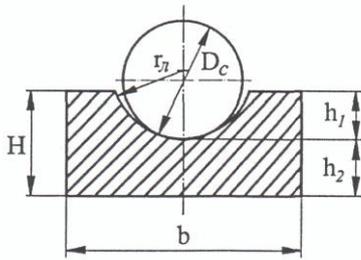
Херц-Беляев. За да се определят аналитично контактните напрежения ще бъдат направени следните предположения:

- Натоварването върху всички лагерни тела е равномерно разпределено;
- Обект на изследване е опорен аксиален едноредов лагер с диаметър на кръга на търкаляне 10 m и 192 броя сачми с диаметър на сферата на търкаляне 150 mm;
- Най-голямата стойност на разпределената сила F_c върху една сачма е определена при база на тегло на горния багерен строеж 10 400 kN;
- При изместен център на тежестта и работно натоварване при копаене - $F_c = 115$ kN.

3. Аналитично определяне на контактните напрежения

На фигура 1 е показан напречен разрез на контактната двойка.

Характерно за условията на търкаляне в този случай е, че радиусът на кръговия канал е по-голям от този на сачмата и е нормиран както следва [2, INA]:



Фиг. 1 Геометрични параметри на лагерна гривна и сачма

$h_1 = 0,2D_c$ (mm) - височина на ребрда на лагера, избира се по конструктивни съображения ;
 $r_f = 0,525D_c$ – радиус на канала за търкаляне на съчмата.

Височината h_2 е височина на напречното сечение под сачмата до основата на лагерния пръстен. Тя се избира след пресмятане на контактната якост по формулите на Herz - Беляев, ползвани от фирма "INA", производител на лагери .Максимално контактно напрежение P_{max} се определя от

$$P_{max} = \frac{1}{\xi\eta} \sqrt[3]{\frac{3FE^2(\Sigma K)^2}{8\pi^3(1-\nu^2)^2}}, N/mm^2 \quad (1)$$

Където a е полуос на елипсоидната контактна площадка,

$$a = \xi \sqrt[3]{\frac{3F(1-\nu^2)}{E\Sigma K}}, mm \quad (2)$$

b е втората полуос на елипсоидната контактна площадка,

$$b = \eta \sqrt[3]{\frac{3F(1-\nu^2)}{E\Sigma K}} \quad (3)$$

ΣK е коефициент, чиято стойност зависи от кривините на контактуващите тела,

$$\Sigma K = \frac{2}{d_w} (2 - S) \quad (4)$$

$$S = \frac{d_c}{2r_n} \quad (5)$$

Величините ξ, η се определят от справочни таблици [2, INA], а константите E и ν са известни –

$E = 2,1 \cdot 10^5, N/mm^2$ – модул на еластичност;

$\nu = 0,3$ - коефициент на Поасон

За числения пример, който се разглежда :

$$\Sigma q = F_c = 115 \text{ kN};$$

където:

$a = 15,324 \text{ mm}$ -

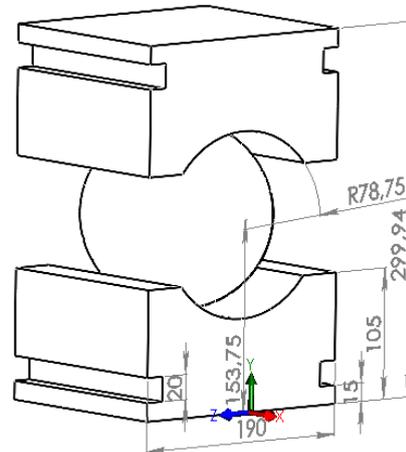
$b = 2,135 \text{ mm}$

$$P_{max} = \frac{1,5 \cdot \Sigma q}{\pi \cdot a \cdot b} = \frac{1,5 \cdot 115000}{3,14 \cdot 15,324 \cdot 2,135}, \frac{N}{mm^2}$$

$$P_{max} = 1679 \frac{N}{mm^2}$$

На фигура 2 е показан общият вид на изследвания CAD-CAE модел, за който е характерно следното:

- Началото на координатната система е разположено върху долната стена на лагерната гривна;
- Пълно ограничение на степените на подвижност е задаено на долната гривна;
- Натоварването F_c , което се понася от една сачма е приложено спрямо горната гривна (Фиг. 3,4)
- Контактното петно между гривните и сачмата се моделира с геометрични параметри (размери на полуосите a и b), които са предварително изчислени по ф-ли 2 и 3

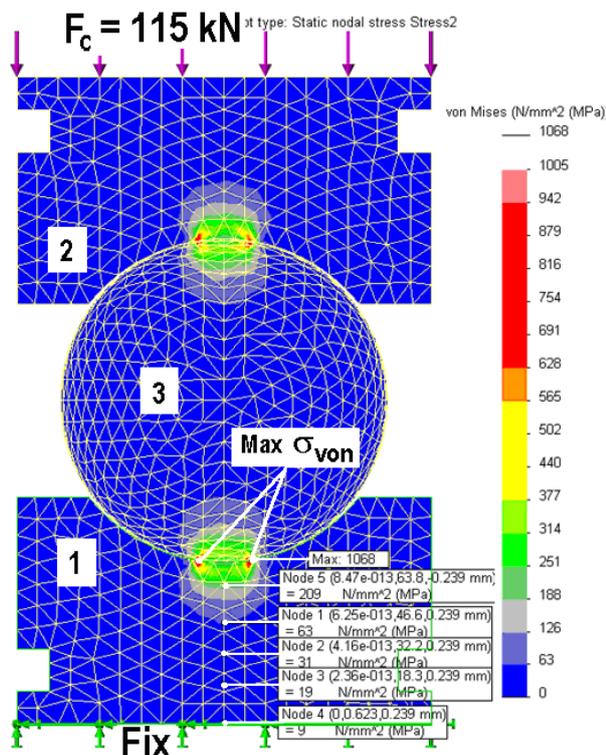


Фиг. 2 Общ вид на контактните елементи от CAD-модела..

Резултати и изводи

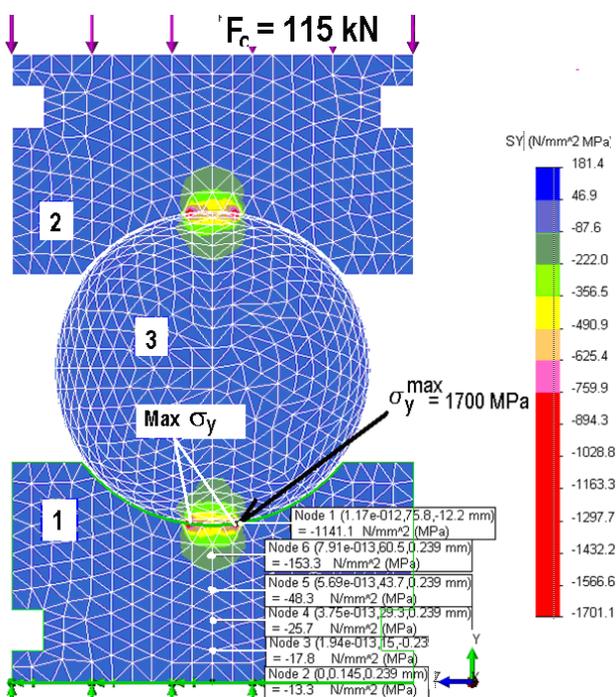
Компютърното приложение на метода на крайните елементи, с което е реализиран представения по-нататък структурен деформационно-напреженов FE-анализ е програмата COSMOS Works, а 3D-CAD-моделът е създаден със SolidWorks 2008.

На фигура 3 е показано разпределението на еквивалентните напрежения в дефинираното сечение. Могат да се локализират областите, в които те са максимални – това са границите на контактната площ по голямата ос на елипсата. Възлите и максималните стойности на тези напрежения се генерират автоматично.



Фиг. 3 САЕ-модел с резултати за еквивалентните напрежения в сечение през центъра на сачмата по von Miises.

На фигура 4 е показано разпределението на нормалните напрежения в същото сечение. Тук, както и на фиг.3 са измерени програмно освен максималните, допълнително с инструмента „PROBE“ и стойностите на напреженията в пет допълнителни точки в избраните възли, които са разположени по моста Y на координатната система.



Фиг. 4 САЕ- модел с резултати за нормалните напрежения в сечение през центъра на сачмата по ос Y - σ_y . Тези стойности са ситематизирани и групирани в таблици 1 и 2 отделно за еквивалентните и за нормалните напрежения.

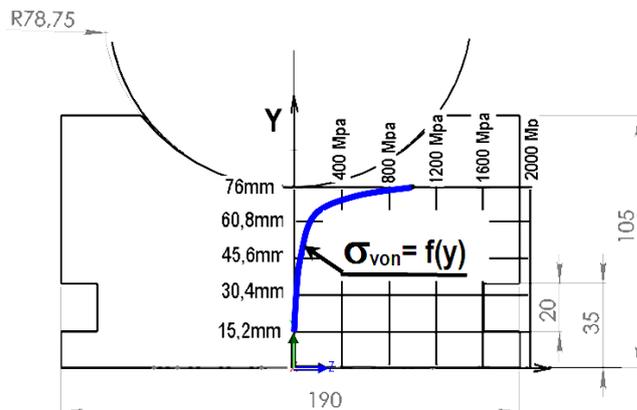
Таблица 1

Т. №	1	2	3	4	5	6 (контакт)
Y, mm	0.0	18.3	32.2	46.6	63.8	76
σ_{von} , MPa	9	19	31	63	209	1076
$\sigma_{\text{von}}/P_{\text{max}}$ (безразм)	0.005	0.011	0.018	0.037	0.124	0.64
P_{max}	-	-	-	-	-	1679

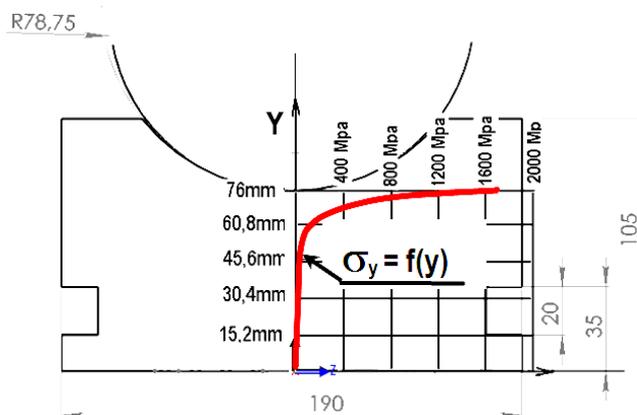
Таблица 2

Т. №	1	2	3	4	5	6 (контакт)
Y, mm	0.0	15	29.2	43.8	60.5	76
σ_y , MPa	13	17	25.6	48.3	153	1701
σ_y/P_{max} (безразм)	0.007	0.010	0.015	0.026	0.091	1.01
P_{max}	-	-	-	-	-	1679

В двете таблици са изчислени и безразмерните стойности на на измерените напрежения. Получените резултати за изменението на напреженията по оста Y на КС в напречното сечение позволяват да се представи графично градиента на спадане както на еквиваентното напрежение, така и на компонентите (нормални и тангенциални напрежения)



Фиг. 5 Функция на изменение на еквивалентното напрежение σ_{von} от разстоянието до контактната повърхност.



Фиг. 6 Функция на изменение на еквивалентното напрежение σ_{von} от разстоянието до контактната повърхност.

Заклучение

Получените резултати за напреженията в областта на контакт между сферичен търкалящ се елемент и тороидален канал на лагерната гривна са близки до аналитично получените по методика за пресмятане, която се базира на теорията на Херц-Беляев и се използва от всички производители на такива лагери. Това дава основание да се задълбочат изследванията за определяне разпределението на напреженията и в други характерни сечения в ранината ХУ на координатната система. Така може да се прецизира границата за допустимо намаляване на дебелината лагерните гривни. Трябва да се отбележи също, че предложеният метод за моделно изследване на деформации

и напрежения, базирано на метода на крайните елементи може да се разпространи и към други конструкции на лагерни опори, като такива с двуредови сачмени или ролкови лагери.

Литература

- Eschmann, Hasbargen, Weigang, Ball and Roller Bearings. Theory, Design, and Application., Muenchen, Wien, R.Oldenburger Verlag, 1985
- INA, Technisches Taschenbuch INA Walzlager Schaeffler, KG, 1992
- Kurth Friedrich. Stahlbau. and 1. Berlin VEB VERLAG-TECHNIK, 1972.

Препоръчана за публикуване от кат. „Механизация на мините”, МЕМФ

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА РАЗЛИЧНИ ФАКТОРИ ВЪРХУ УСТОЙЧИВОСТТА НА КУЛА КРАН

Христо Шейретов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, sheiretov@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Определени са коефициентите на устойчивост на различни кранове с товароподемност 2,5, 5, 8 и 10t. Изследвано е влиянието на наклона на терена, дължината на стрелата и височината на кулата.

STUDY OF THE INFLUENCE OF SEVERAL FACTORS ON THE STABILITY OF A TOWER CRANE

Hristo Sheiretov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, sheiretov@abv.bg

ABSTRACT. The coefficients of stability of different cranes with capacities of 2,5, 5, 8 and 10t are determined. The influence of the slope, the length of the boom and the height of the tower is studied.

Определяне на коефициентите на товарна и собствена устойчивост

Коефициентът на товарна устойчивост $k_{ту}$ се определя при окачен товар, равен на максималната товароподемност на крана и при наклон на терена равен на максималния допустим наклон за крана (Дивизев, 1986; Зеленский, 1958; Шейретов 2008) (фиг.1). Определя се по формулата (Зеленский, 1958):

$$k_{ту} = \frac{M_{уд} - M_{обр}}{M_{тов}}, \text{ където:}$$

$M_{уд}$ – удържащ момент при определяне на товарната устойчивост;

$M_{обр}$ – обръщателен момент при определяне на товарната устойчивост;

$M_{тов}$ – товарен момент.

$$M_{уд} = G_{хч} \cdot l_{хч} + G_{б} \cdot l_{б} + G_{к} \cdot l_{к} + G_{кон} \cdot l_{кон} + G_{н} \cdot l_{н} + G_{вп} \cdot l_{вп}$$

[KN.m]

$$M_{обр} = G \cdot l_G + G_o \cdot l_{кол} + F_{ин} \cdot l_Q + G_c \cdot l_c + (P_{ем} + F_{ц}) \cdot h_Q + P_{вк} \cdot h_k$$

[KN.m]

$$M_{тов} = Q \cdot l_Q, \text{ KN.m}$$

$G_{хч}, G_{б}, G, G_{ск}, G_{ко}, G_n, G_{вп}, G_o, G$ [KN]- сили на тежестта на ходовата част, баласта, кулата, стрелата, конзолата, противотежестта, въртящата се платформа, ролковия блок и крановата количка;

Q [KN] – максимална товароподемност на крана;

$P_{ем}$ и $P_{вк}$ [KN] – сили от вятъра върху товара и кулата;

$F_{ин}$ и $F_{ц}$ [KN] – инерционна и центробежна сила върху товара;

$l_{хч}, l_{б}, l_{к}, l_{кон}, l_n, l_{вп}, l_G, l_{кол}, l_Q, l_c, h_Q, h_k$ и l_Q – рамена на съответните сили спрямо точка O .

$$F_{ц} = \frac{Q \cdot n^2 \cdot L_1}{900 - n \cdot (h' - h_Q)}, \text{ KN}$$

$$F_{ин} = \frac{Q + G}{g} \cdot \frac{v}{t_c}, \text{ KN, където:}$$

$t_c = 1$ s – време за спиране на подемния механизъм;

v [m/s] – скорост на подемния механизъм;

n [min⁻¹] – честота на въртене на крана.

$$P_{ем} = S_m \cdot k_a \cdot k_3 \cdot p, \text{ KN}$$

($k_a = 1,2 \quad k_3 = 1$)

$$P_{вк} = S_m \cdot k_a \cdot k_3 \cdot p, \text{ KN}$$

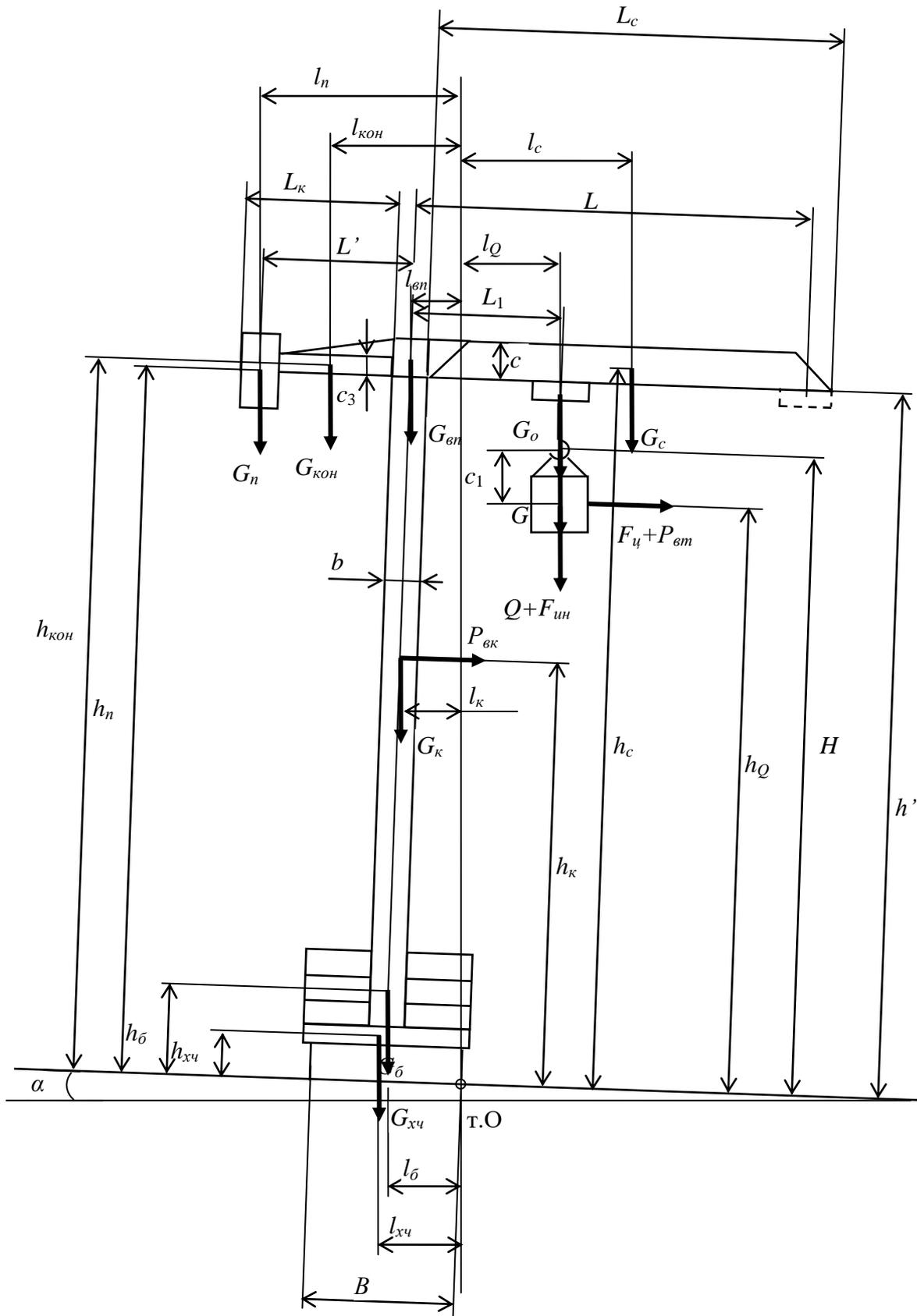
($k_a = 1,4 \quad k_3 = 0,4$)

$$S_k = h_1 \cdot b, \text{ m}^2$$

$p = 0,25$ KN/m² – налягане на вятъра;

k_a – коефициент на аеродинамичност;

k_3 – коефициент на запълване на сечението;



Фиг.1 Схема за определяне на товарната устойчивост на кула кран

S_k – обветрена площ на кулата;
 S_m – обветрена площ на товара [m²].

$L_c = L + 0,3$ - дължина на стрелата

$h' = H + 0,6$

$h_{кон} = h' + \frac{c_3}{2}$

$h_n = h'$

$h_k = \frac{h'}{2}$

$h_Q = H - c_1$

$l_{xч} = \frac{B}{2} \cdot \cos \alpha - h_{xч} \cdot \sin \alpha$

$l_{\bar{o}} = B \cdot \cos \alpha - h_{\bar{o}} \cdot \sin \alpha$

$h_c = h' + \frac{c}{2}$

$l_k = \frac{B}{2} \cdot \cos \alpha - h_k \cdot \sin \alpha$

$l_{кон} = \left(\frac{L_k}{2} + \frac{b}{2} + \frac{B}{2} \right) \cdot \cos \alpha - h_{кон} \cdot \sin \alpha$

$l_Q = \left(L_1 - \frac{B}{2} \right) \cdot \cos \alpha + h_Q \cdot \sin \alpha$

$l_G = \left(L_1 - \frac{B}{2} \right) \cdot \cos \alpha + H \cdot \sin \alpha$

$l_{кол} = \left(L_1 - \frac{B}{2} \right) \cdot \cos \alpha + h' \cdot \sin \alpha$

$l_c = \left(\frac{L_c}{2} + \frac{b}{2} - \frac{B}{2} \right) \cdot \cos \alpha + h_c \cdot \sin \alpha$

$l_{\bar{e}n} = \frac{B}{2} \cdot \cos \alpha - h' \cdot \sin \alpha$

$l_n = \left(L' + \frac{B}{2} \right) \cdot \cos \alpha - h_n \cdot \sin \alpha$

L – максимален обсег на крана;

H – височина на вдигане на товара;

c – височина на стрелата;

b – широчина на кулата;

B – база на крана (разстояние между релсите по които се движи крана);

c_3 – височина на конзолата;

L_1 – обсег на крана при максимална товароподемност;

L' – обсег на противовтежестта;

L_k – дължина на конзолата;

α – наклон на терена

Коефициентът на собствена устойчивост k_{cy} се определя при липса на товар и максимално допустим обратен наклон (фиг.2).

$k_{cy} = \frac{M'_{y\bar{o}}}{M'_{o\bar{o}p}}$, където:

$M'_{y\bar{o}}$ – удържащ момент при определяне на собствената устойчивост;

$M'_{o\bar{o}p}$ – обръщателен момент при определяне на собствената устойчивост на крана;

$M'_{y\bar{o}} = G_{xч} \cdot l'_{xч} + G_{\bar{o}} \cdot l'_{\bar{o}} + G_k \cdot l'_k +$
 $+ G_{\bar{e}n} \cdot l'_{\bar{e}n} + G \cdot l'_G + G_o \cdot l'_{кол} + G_c \cdot l'_c$
 [KN.m]

$M'_{o\bar{o}p} = G_{кон} \cdot l'_{кон} + G_n \cdot l'_n + P'_{вк} \cdot h_k$
 [KN.m]

$l'_{кон}, l'_n, l'_{xч}, l'_{\bar{o}}, l'_k, l'_{\bar{e}n}, l'_G, l'_{кол},$ и l'_c – рамена на силите при определяне на собствената устойчивост на крана.

$l'_{xч} = l_{xч}$

$l'_{\bar{o}} = B \cdot \cos \alpha - h_{\bar{o}} \cdot \sin \alpha$

$l'_k = \frac{B}{2} \cdot \cos \alpha - h_k \cdot \sin \alpha$

$l'_{кон} = \left(\frac{L_k}{2} + \frac{b}{2} - \frac{B}{2} \right) \cdot \cos \alpha + h_{кон} \cdot \sin \alpha$

$l'_n = \left(L' - \frac{B}{2} \right) \cdot \cos \alpha + h_n \cdot \sin \alpha$

$l'_G = \left(L_1 + \frac{B}{2} \right) \cdot \cos \alpha - h' \cdot \sin \alpha$

$l'_{кол} = \left(L_1 + \frac{B}{2} \right) \cdot \cos \alpha - h' \cdot \sin \alpha$

$l'_{\bar{e}n} = \frac{B}{2} \cdot \cos \alpha - h' \cdot \sin \alpha$

$l'_c = \left(B + \frac{L}{2} \right) \cdot \cos \alpha - h_c \cdot \sin \alpha$

$P'_{вк}$ – сила от вятъра върху кулата при определяне на собствената устойчивост

$P'_{вк} = S_m \cdot k_a \cdot k_z \cdot p'$, KN

$p' = 0,7 + (h_k - 20) \cdot 0,01$ - налягане от вятъра върху кулата при определяне на собствената устойчивост.

За да се запази устойчивостта на крана се препоръчва (Дивизев, 1986; Зеленский, 1958; Шейретов 2008) :

$k_{my} \geq 1,15$ $k_{cy} \geq 1,15$

Ако $k_{my} < 1,15$ се увеличава масата на противовтежестта G_n . Ако $k_{cy} < 1,15$ се увеличава масата на баласта G_b .

Влияние на наклона на терена α

Изчисленията са направени за съществуващ кран (SAEZ) с товароподемност $Q = 5t$ при следните данни: $L=55m$, $H=30m$, $G_n=13750kg$, $L_1=15,8m$, $B=3,8m$, $G_6=60,8t$, $G_c=5880kg$, $G_k=9487kg$. Резултатите от изчисленията са дадени в табл.1.

Таблица 1.

α [°]	2	3	4	5
k_{my}	1,84	1,54	1,27	0,99
k_{cy}	1,42	1,31	1,23	1,14

Влияние на дължината на стрелата (максималния обсег L)

Таблица 2.

L [m]	55	50	45	40	35
k_{my}	1,8	2,02	2,31	2,58	2,87
k_{cy}	1,86	1,73	1,62	1,5	1,36

$G_n=13750kg$, $L_1=15,8m$, $B=3,8m$, $G_6=60,8t$, $G_c=5880kg$, $G_k=9487kg$, $\alpha=2^\circ$

Влияние на височината на кулата (максималната височина на вдигане на товара H)

Таблица 3.

H [m]	24	30	35,8	41,8
G_k [kg]	7564	9487	11346	13269
k_{my}	1,61	1,46	1,32	1,18
k_{cy}	1,37	1,29	1,20	1,12

H [m]	47,8
G_k [kg]	15128
k_{my}	1,02
k_{cy}	1,03

Реални коефициенти на устойчивост

В действителност при увеличаване на дължината на стрелата (увеличаване на максималния обсег L) се увеличава и масата на противовтежестта G_n , а се намалява обсега L_1 . При увеличаване на височината на кулата (увеличаване на височината на вдигане H) се увеличава масата на баласта G_6 и базата на крана B . Затова са направени изчисления за същия кран (SAEZ), като се вземат в предвид горните условия. Резултатите са дадени в табл.4.

Таблица 4

H [m]	L [m]	55	50	45
24	G_6 [t]	45,6	45,6	45,6
	G_n [kg]	13750	13200	12350
	B [m]	3,8	3,8	3,8
	L_1 [m]	15,8	18	21
	k_m	1,56	1,5	1,35
	k_c	1,75	1,08	1,65
30	G_6 [t]	60,8	60,8	60,8
	G_n [kg]	13750	13200	12350
	B [m]	3,8	3,8	3,8
	L_1 [m]	15,8	18	21
	k_m	1,8	1,71	1,53
	k_c	1,86	1,8	1,77
35,8	G_6 [t]	60,8	60,8	60,8
	G_n [kg]	13750	13200	12350
	B [m]	4,5	4,5	3,8
	L_1 [m]	15,8	18	21
	k_m	2,18	2,04	1,53
	k_c	1,78	1,72	1,77
41,8	G_6 [t]	76	76	76
	G_n [kg]	13750	13200	12350
	B [m]	4,5	4,5	4,5
	L_1 [m]	15,8	18	21
	k_m	2,48	2,04	2,04
	k_c	1,85	1,72	1,78
47,6	G_6 [t]	121,6	121,6	121,6
	G_n [kg]	13750	13200	12350
	B [m]	4,5	4,5	4,5
	L_1 [m]	15,8	18	21
	k_m	3,65	3,34	2,92
	k_c	2,21	2,17	2,18

Коефициенти на устойчивост за кранове с различна товароподемност

Направени са изчисления на коефициентите на устойчивост за трикрана с обхват $L=35m$ и товароподемност $Q=2,5, 5$ и $8t$ (FM Gru; Potain; SAEZ). Височините на вдигане са с близки стойности, съответно: 42, 40,8 и 50,6 m. Резултатите са дадени в табл.5.

Таблица 5.

Q [t]	2,5	5	8
L [m]	35	35	35
H [m]	42	40,8	50,6
k_{my}	2,03	2,24	1,44
k_{cy}	1,45	1,94	1,15

В табл. 6 са дадени резултатите от изчисленията на три крана с товароподемност $Q=5,8$ и $10 t$ и обхват $L=55m$ (Liebherr; Potain; SAEZ).

Таблица 6.

Q [t]	5	8	10
L [m]	55	55	55
H [m]	50,6	55,8	54,2
k_{my}	3,62	3,26	1,77
k_{cy}	2,04	1,86	1,49

Изводи

1. При увеличаване на дължината на стрелата (обхвата на крана L) и неизменящи се маса на противотежестта G_n и обсег с максимална товароподемност L_1 , коефициентите на устойчивост k_{my} и k_{cy} намаляват (табл.1). При $L=40,45$ и $50m$ $k_{my}>k_{cy}$, а при $L=55m$, $k_{my}<k_{cy}$.
2. При увеличаване на височината на кулата (височината на вдигане на товара H) и неизменящи се маса на баласта G_b и база B , коефициентите на устойчивост k_{my} и k_{cy} намаляват (табл.2). При $H=24,30,35,8$ и $41,8m$ $k_{my}>k_{cy}$, а при $H=47,6m$ $k_{my}<k_{cy}$.
3. При увеличаване на наклона на терена α коефициентите на устойчивост намаляват, като при $\alpha=5^\circ$ те стават по-малки от допустимите (табл.3).
4. При увеличаване на дължината на стрелата (обхвата L), но съответно увеличаване на масата на противотежестта G_n и намаляване на обсега L_1 , коефициентите на устойчивост k_{my} и k_{cy} се увеличават (табл.4). Това може да се обясни с по-големия коефициент на сигурност при кранове с по-голям обхват.
5. При увеличаване на височината на кулата и съответно увеличаване на масата на баласта G_b и базата на крана B , коефициентите на устойчивост k_{my} и k_{cy} се увеличават (табл.4). Това също се обяснява с по-големия коефициент на сигурност при кранове с по-голяма височина. При $H=24$ и $30m$ $k_{my}>k_{cy}$, а при $H=35,8, 41,8$ и $47,6m$ – $k_{my}<k_{cy}$.
6. При кранове с различна товароподемност Q , но с еднакъв обхват L и еднаква височина на вдигане H няма определена зависимост за коефициентите на устойчивост (табл.5 и табл.6).

Литература

- Дивизиев, В.Й..Основи на товароподемните машини. Техника, София, 1986
- Заленский, В.С., Мовчан, Ф.Ф. Подъемно-транспортные и строительные машины. Госстройиздат, Москва, 1957
- Шейретов, Х.К.. Ръководство за проектиране на кула кранове. МГУ, София, 2008
- FM Gru 1035 CTY – проспект
- Liebherr masblatt turmdrehkran 180.1 HC – проспект
- Potain MDT 178 – проспект
- SAEZ TL55 – проспект

Препоръчана за публикуване от кат. „Механизация на мините”, МЕМФ

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ЧЕСТОТАТА НА ВЪРТЕНЕ И ДЪЛЖИНАТА НА СТРЕЛАТА ВЪРХУ ВРЕМЕТО ЗА ПУСКАНЕ НА МЕХАНИЗМА ЗА ВЪРТЕНЕ НА КУЛА КРАН

Христо Шейретов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, sheiretov@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Определено е времето за пускане на механизма за въртене на кула кран с товароподемност 5t. Направени са изчисления при три честоти на въртене, пет обсега на крана за три различни двигатели.

INFLUENCE OF THE ROTATION SPEED AND THE BOOM LENGTH ON THE START TIME OF THE ROTATION MECHANISM OF A TOWER CRANE

Hristo Sheiretov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, sheiretov@abv.bg

ABSTRACT. The acceleration time of the rotation mechanism of a tower crane with capacity 5t is determined. Calculations at three rotation speeds and five boom lengths are made. Three different motors are used for the calculations.

Определяне на времето за пускане

Времето за пускане се определя по формулата (Коларов 1986, Шейретов 2009):

$$t_n = \frac{\omega_{\partial\epsilon} J_r}{M_n^{cp} - M_{cm}}, \text{ s}, \text{ където:}$$

$\omega_{\partial\epsilon}$ – ъглова скорост на двигателя, rad/s

J_r – масов инерционен момент редуциран към вала на двигателя при въртенето, kg.m²

M_n^{cp} – среден пусков момент на двигателя, N.m

M_{cm} – статичен съпротивителен момент на вала на двигателя, N.m

$$\omega_{\partial\epsilon} = \frac{\pi \cdot n_{\partial\epsilon}}{30}, \text{ s}^{-1}$$

$$J_r = 1,2 \cdot J_{\partial\epsilon} + \frac{J + J_{кон} + J_n + J_{\epsilon n} + J_{cm}}{x \cdot i^2 \cdot \eta} \quad [\text{kg.m}^2]$$

$$M_n^{cp} = \frac{M_n^{\min} + M_n^{\max}}{2}, \text{ N.m}$$

$$M_{cm} = \frac{1000 \cdot M}{x \cdot i \cdot \eta}, \text{ N.m}$$

$n_{\partial\epsilon}$ – честота на въртене на двигателя, min⁻¹

$J_{\partial\epsilon}$ – инерционен момент на двигателя, kg.m²

J – инерционен момент на количката с ролковия блок и товара, kg.m²

$J_{кон}$ – инерционен момент на конзолата, kg.m²

J_n – инерционен момент на противотежестта, kg.m²

$J_{\epsilon n}$ – инерционен момент на въртящата се платформа, kg.m²

J_{cm} – инерционен момент на стрелата, kg.m²

x – брой на двигателите

l – предавателно отношение на механизма

η – КПД на механизма

M_n^{\min} – минимален пусков момент на двигателя, N.m

M_n^{\max} – максимален пусков момент на двигателя, N.m

M – среден съпротивителен момент при въртенето, N.m

$$J = m \cdot L^2, \text{ kg.m}^2$$

$$J_{кон} = \frac{1}{3} \cdot m_{кон} \cdot \left[\left(\frac{b}{2} \right)^2 + \frac{b}{2} \cdot \left(\frac{b}{2} + L_{\kappa} \right) + \left(\frac{b}{2} + L_{\kappa} \right)^2 \right]$$

$$J_n = m_n \cdot L^2, \text{ kg.m}^2$$

$$J_{\epsilon n} = 0,5 \cdot m_{\epsilon n} \cdot \left(\frac{b}{2} \right)^2, \text{ kg.m}^2$$

$$J_{cm} = \frac{1}{3} \cdot m_c \cdot \left[\left(\frac{b}{2} \right)^2 + \frac{b}{2} \cdot \left(\frac{b}{2} + L_c \right) + \left(\frac{b}{2} + L_c \right)^2 \right] \quad [\text{kg.m}^2]$$

$$i = \frac{n_{\partial\epsilon}}{n}$$

$$\eta = \eta_p \cdot \eta_{\epsilon n}$$

$$M_n^{\min} = 1,1 \cdot M_n, \text{ N.m}$$

$$M = \sqrt{\frac{M_1^2 - M_2^2}{2}}, \text{ KN.m}$$

m – маса на количката с ролковия блок и товара, kg
(масата на товара е равна на товароподемността на крана при максимален обсег Q_1)

L – максимален обсег на крана, m (фиг.1)

$m_{\text{кон}}$ – маса на конзолата, kg

b – широчина на кулата, m

L_k – дължина на конзолата, m

m_n – маса на противотежестта, kg

L' – обхват на противотежестта, m

$m_{\text{еп}}$ – маса на въртящата се платформа, kg

m_c – маса на стрелата, kg

L_c – дължина на стрелата

n – честота на въртене на крана, min⁻¹

$\eta_p = 0,88$ – кпд на тристъпален планетарен редуктор

$\eta_{\text{ен}} = 0,93$ – кпд на външната предавка

M_n – номинален въртящ момент на двигателя, N.m

M_1 – съпротивителен момент през първия полупериод на въртене, N.m

M_2 – съпротивителен момент през втория полупериод на въртене, N.m

$$M_n = \frac{P_{\text{дв}}}{\omega_{\text{дв}}} \cdot 1000, \text{ N.m}$$

$$M_1 = M_{\text{пр}} + \frac{M_{\text{еп}} + M_{\text{вс}} - M_{\text{вкон}}}{2}, \text{ KN.m}$$

$$M_2 = M_{\text{пр}} + \frac{M_{\text{вкон}} - M_{\text{вс}}}{2}, \text{ KN.m}$$

$P_{\text{дв}}$ – мощност на двигателя, KW

$M_{\text{пр}}$ – съпротивителен момент от силите на триене при въртенето на опорно-въртящото се устройство, N.m

$M_{\text{еп}}$ – съпротивителен момент от ветровото натоварване на товара, N.m

$M_{\text{вс}}$ – съпротивителен момент от ветровото натоварване на стрелата, N.m

$M_{\text{вкон}}$ – съпротивителен момент от ветровото натоварване на конзолата, N.m

$$M_{\text{пр}} = 0,5 \cdot \mu \cdot (4,5 \cdot M_v + V \cdot D + 2,5 \cdot R \cdot D) \text{ [KN.m]}$$

$$M_{\text{еп}} = P_{\text{вм}} \cdot L_1, \text{ KN.m}$$

$$M_{\text{вс}} = P_{\text{вс}}^c \cdot \left(\frac{L_c}{2} + \frac{b}{2} \right), \text{ KN.m}$$

$$M_{\text{вкон}} = P_{\text{вкон}} \cdot \left(\frac{L_k}{2} + \frac{b}{2} \right), \text{ KN.m}$$

μ – коефициент на триене във въртящото се опорно устройство $\mu = 0,005$

M_v – неуравновесен момент на силите спрямо оста на въртене, KN.m

V – вертикално натоварване на опорно-въртящото се устройство, KN

D – диаметър на опорно-въртящото се устройство, m

R – радиална сила върху опорно-въртящото се устройство, KN

$P_{\text{вм}}$ – сила от вятъра върху товара, KN

$P_{\text{вс}}^c$ – сила от вятъра върху стрелата, KN

$P_{\text{вкон}}$ – сила от вятъра върху конзолата, KN

$$M_v = (Q + G + G_o + F_{\text{ин}}) \cdot L_1 + G_c \cdot \left(\frac{L_c}{2} + \frac{b}{2} \right) -$$

$$- (P_{\text{вм}} + F_u) \cdot (h' - h_Q) - G_{\text{кон}} \cdot \left(\frac{L_k}{2} + \frac{b}{2} \right) - G_n \cdot L'$$

[KN.m]

$$V = G_n + G_{\text{кон}} + G_{\text{еп}} + G_o + G + G_c + Q, \text{ KN}$$

$$P_{\text{вм}} = S_m \cdot k_a \cdot k_3 \cdot p, \text{ KN } (k_a=1,4 \quad k_3=0,4)$$

$$P_{\text{вс}}^c = S_c^c \cdot p \cdot k_a \cdot k_3, \text{ KN } (k_a = 1,2 \quad k_3 = 1)$$

$$P_{\text{вкон}} = S_{\text{кон}} \cdot p \cdot k_a \cdot k_3, \text{ KN } (k_a=1,4 \quad k_3=0,3)$$

Q – товароподемност на крана, t

G – сила на тежестта на ролковия блок, KN

G_o – сила на тежестта на количката, KN

$F_{\text{ин}}$ – инерционна сила при вдигане на товара, KN

G_c – сила на тежестта на стрелата, KN

F_u – центробежна сила при въртенето, KN

h' – височина на стрелата на крана, m

h_Q – височина на товара, m

$G_{\text{кон}}$ – сила на тежестта на конзолата, KN

G_n – сила на тежестта на противотежестта, KN

$G_{\text{еп}}$ – сила на тежестта на въртящата се платформа, KN

S_m – обветрена площ на товара, m²

S_c^c – странична обветрена площ на стрелата, m²

$p=0,25$ KN/m² – налягане на вятъра

k_a – коефициент на аеродинамичност

k_3 – коефициент на запълване

$S_{\text{кон}}$ – обветрена площ на конзолата, m²

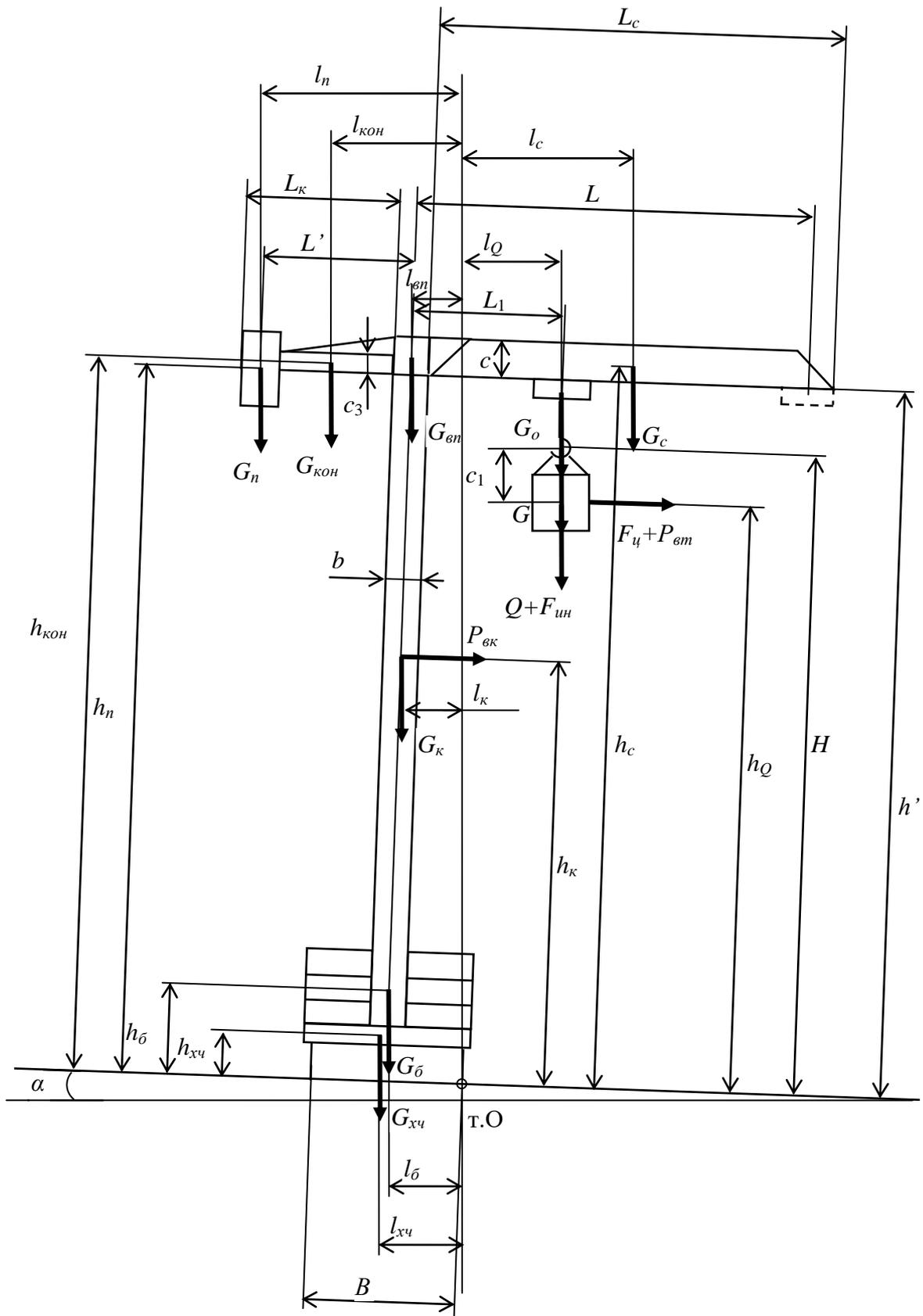
$$S_c^c = c \cdot L_c, \text{ m}^2$$

$$S_{\text{кон}} = L_k \cdot c_3, \text{ m}^2$$

Времето за пускане трябва да е по-малко от 10s (Гохберт 1988)

$$t_n \leq 10s$$

Ако не е изпълнено условието трябва да се избере двигател с по-голяма мощност.



Фиг.1 Сили и основни размери на кула кран

Влияние на честотата на въртене върху времето за пускане

Изчисленията са направени за съществуващ кран (SAEZ) с товароподемност $Q = 5t$ при следните данни: $L=55m$, $L_1=15,8m$, $v=16m/min$, $m_n=13750kg$, $Q_1=1050kg$, $m=1390kg$, $x=2$, $m_{кон}=3240kg$, $m_{вн}=3200kg$, $m_c=5870kg$, $c=1,8m$, $c_3=1,2m$, $b=1,2m$, $L_k=12m$, $L'=11m$, $c_1=3m$, $S_m=7,1m^2$. Определено е времето за пускане при три честоти на въртене $n=0,3$, $n=0,6$ и $n=0,8min^{-1}$ за двигатели с мощност $P_{дв}=4, 2,8$ и $1,7KW$. Двигателите имат следните данни: $P_{дв}=4KW$ ($n_{дв}=950min^{-1}$, $M_n^{max}=140N.m$, $J_{дв}=0,07kg.m^2$) $P_{дв}=2,8KW$ ($n_{дв}=920min^{-1}$, $M_n^{max}=87N.m$, $J_{дв}=0,049kg.m^2$) $P_{дв}=1,7KW$ ($n_{дв}=920min^{-1}$, $M_n^{max}=57N.m$, $J_{дв}=0,029kg.m^2$). Резултатите от изчисленията са дадени в табл.1.

Таблица 1. t_n [s]

n [min^{-1}]	$P_{дв}=4$ KW	$P_{дв}=2,8$ KW	$P_{дв}=1,7$ KW
0,3	0,9	1,63	3,2
0,6	4,43	9,9	37,2
0,8	9,2	26,8	-170

С удебелен шрифт е отбелязано времето за пускане на двигателя, който трябва да бъде избран.

Влияние на дължината на стрелата (максималния обseg L) върху времето за пускане

Изчисленията са направени за същия кран (SAEZ) с товароподемност $Q = 5t$ при следните данни: $n=0,8min^{-1}$, $v=16m/min$, $x=2$, $m_{кон}=3240kg$, $m_{вн}=3200kg$, $c=1,8m$, $c_3=1,2m$, $b=1,2m$, $L_k=12m$, $L'=11m$, $c_1=3m$, $S_m=7,1m^2$. Определено е времето за пускане при пет стандартни дължини на стрелата (обхват L) за същите двигатели с мощност $P_{дв}=4, 2,8$ и $1,7KW$. Трябва да се отбележи, че параметрите L_1 , m_n , Q_1 , m и m_c също се изменят. Резултатите от изчисленията са дадени в табл.2.

Препоръчана за публикуване от кат. „Механизация на мините”, МЕМФ

Таблица 2. t_n [s]

L [m]	$P_{дв}=4$ KW	$P_{дв}=2,8$ KW	$P_{дв}=1,7$ KW
55	9,2	26,8	-179
50	8,2	21,3	-106
45	7,3	18,8	451
40	5,5	12,9	62,4
35	4,2	8,8	24,8

L_1 [m]	m_n [kg]	Q_1 [kg]	m [kg]	m_c [kg]
15,8	13750	1050	1390	4602
18	13200	1450	1790	5104
21	12350	1950	2290	5416
20,2	10900	2250	2590	5678
20,2	10900	2650	2990	5884

С удебелен шрифт е отбелязано времето за пускане на двигателя, който трябва да бъде избран.

Изводи

При увеличаване на честотата на въртене на крана n и постоянна мощност на двигателя ($P_{дв}=\text{const}$) времето за пускане t_n се увеличава (табл.1). При по-голяма честота на въртене следва да се избира двигател с по-голяма мощност.

При увеличаване на дължината на стрелата (обхвата на крана L) и постоянна мощност на двигателя $P_{дв}$, времето за пускане t_n се увеличава (табл.2). При по-голяма дължина на стрелата следва да се избира двигател с по-голяма мощност.

Литература

- Гохберг, М.М. и др.. Справочник по кранам том 2. Ленинград, Машиностроение, 1988
 Дивизиев, В.И.. Основи на товароподемните машини. Техника, София, 1986
 Заленский, В.С., Мовчан, Ф.Ф.. Подъемно-транспортные и строительные машины. Госстройиздат, Москва, 1957
 Коларов, И.Г., Проданов, М.Н.. Проектиране на товароподемни машини. Техника, София, 1986
 Шейретов, Х.К.. Ръководство за проектиране на кула кранове. МГУ, София, 2008
 SAEZ TL55 – проспект

ДИНАМИЧНО НАТОВАРВАНЕ НА ТРАНСМИСИЯТА НА АВТОМОБИЛА ПРИ ПРОМЕНЛИВИ ЪГЛИ НА ЧУПЕНЕ В КАРДАНИЯ СЪЕДИНИТЕЛ

Стефан Пулев

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

РЕЗЮМЕ. Предлага се динамичен модел на абтомобила, включващ елементи както на окачането, така и на трансмисията. Ъглите между валовите на двойния карданен съединител се разглеждат като променящи се в процеса на движение. Аналитично са определени кинематичното смущение и усукващия момент, натоварващ елементите на трансмисията. С помощта на числен експеримент се изследва влиянието на променящите се ъгли на чупене в двойния карданен съединител върху динамиката на трансмисията.

DYNAMIC LOADING OF THE VEHICLE'S TRANSMISSION UNDER THE CARDAN SHAFT'S ANGLE VARIATION

Stefan Pulev

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

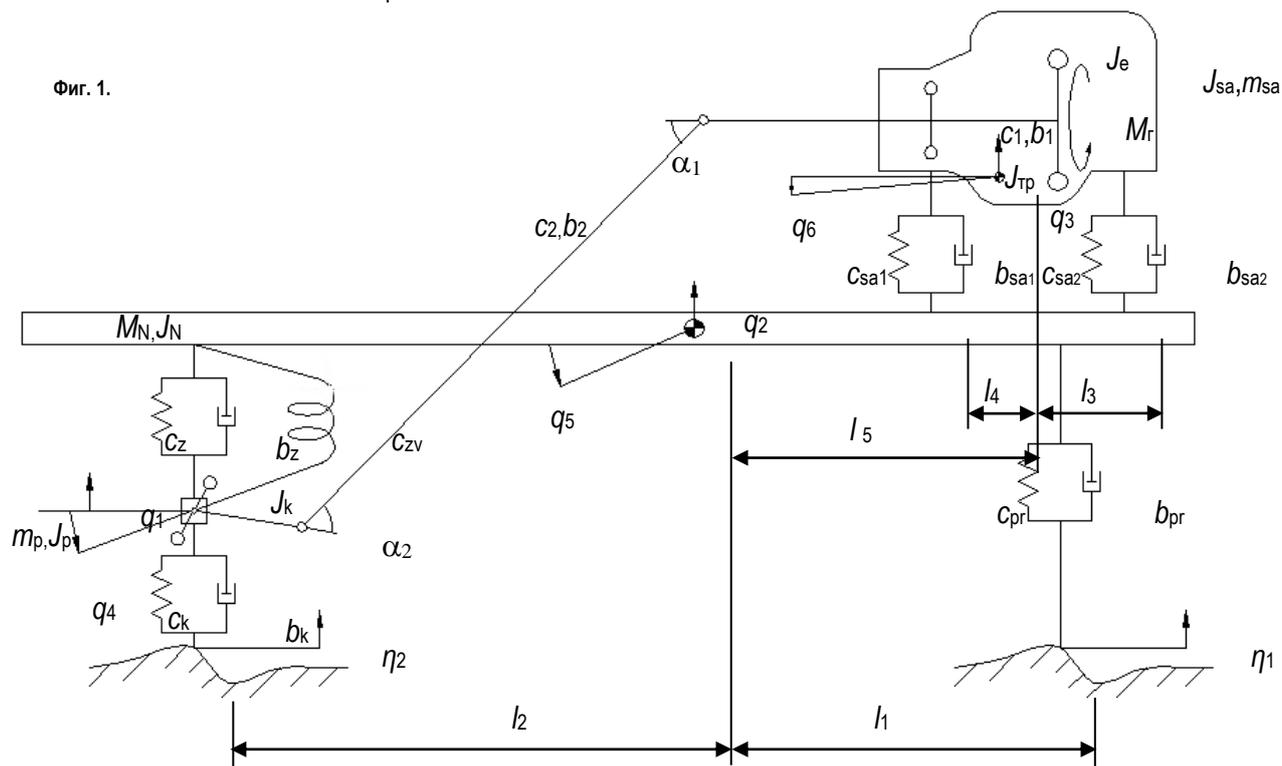
ABSTRACT. A dynamic model of a vehicle which includes elements of the suspension and the transmission is presented. The angles between the shafts of the double cardan clutch are changing in the process of motion. The kinematic distortion and the moment of torsion in the transmission are analytically defined. A numerical experiment is conducted to research the influence of the varying angles on the dynamics of the transmission.

Въведение

Съществуват редица публикации, свързани с динамиката на машини с карданен съединител, най-обстойната от които е [1]. Ъглите между карданните валове се разглеждат като постоянни по големина. В движещия се автомобил споменатите ъгли са променливи и е важно

кардания съединител да се разглежда като нестационарен. Това доближава в по-голяма степен динамичния модел на автомобила до реалния. Настоящото изследване доразвива резултатите, получени в [1] и [2], като отчита изменението на ъглите между осите на карданните валове. Динамичният модел, който стои в основата на пресмятанията е показан на фигура 1.

Фиг. 1.



Той отразява съвместните трептения на трансмисията и окачването на автомобила. За обобщени координати са въведени:

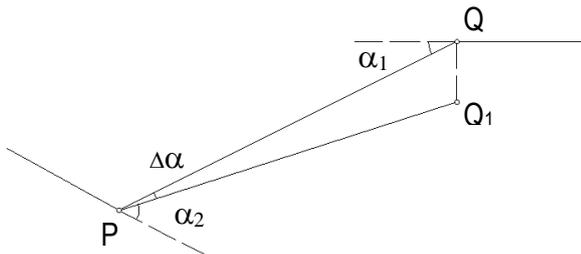
- q_1, q_2, q_3 - вертикални премествания съответно на подресорните, надресорните маси и на двигателя;
- q_4, q_5, q_6 - ъгли на завъртане съответно на подресорните, надресорните маси и на двигателя;
- q_7, q_8, q_9, q_{10} - ъгливи премествания съответно на колянния вал, първичния вал на предавателната кутия, водещите колела и автомобила.

Пълното описание на този модел, както и закона на движението му са представени в [3]. Тук ще се спрем на кинематичното смущение ξ , внасяно от двойния карданен съединител

$$\xi = \left(tg^2 \frac{\alpha_1}{2} - tg^2 \frac{\alpha_2}{2} \right) \sin 2q_8, \quad (1)$$

където α_1 и α_2 са ъглите на чупене.

Геометрична страна на проблема



Фиг. 2.

С отсечката PQ на фигура 2 е означено положението на карданния вал, когато автомобилът е неподвижен и ъглите на чупене са $\alpha_{1,0}$ и $\alpha_{2,0}$. С отсечката PQ₁ е представено положението на същия вал в произволен момент от движението. Ъгълът $\Delta\alpha$ е малък и с достатъчна точност може да се приеме, че $PQ = PQ_1 = l$ и $\sin \Delta\alpha = \Delta\alpha$. Отсечката QQ₁ е равна на разликата от вертикалните премествания на подресорната маса и на двигателя, т.е. $QQ_1 = q_3 - q_1$. След прилагане на синусова теорема за триъгълник PQQ₁ и преобразуване се получава $\Delta\alpha = (q_3 - q_1) \frac{\cos \alpha_{1,0}}{l}$. Следователно ъглите на чупене могат да се представят по следния начин:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \alpha_{1,0} + (q_3 - q_1) \frac{\cos \alpha_{1,0}}{l} + q_6 \\ \alpha_2 &= \alpha_{2,0} + (q_3 - q_1) \frac{\cos \alpha_{1,0}}{l} + q_4 \end{aligned} \quad (2)$$

Първите събираеми в десните части са постоянни. Вторите и третите събираеми са променливи (вибрационни), малки по големина и функция на обобщените координати. Те се появяват само, когато двойният карданен съединител се разглежда като нестационарен.

Механична страна на проблема

След заместване на (2) в (1) и разлагане в ред на Тейлор, за кинематичното смущение при променливи по време на движение ъгли на чупене се получава изразът:

$$\xi = \left(tg^2 \frac{\alpha_{1,0}}{2} - tg^2 \frac{\alpha_{2,0}}{2} + d_1 q_1 + d_3 q_3 + d_4 q_4 + d_6 q_6 \right) \sin 2q_8 \quad (3)$$

Коефициентите се пресмятат по следните формули:

$$\begin{aligned} d_1 &= \sin \frac{\alpha_{1,0}}{2} \cos^{-3} \frac{\alpha_{1,0}}{2}, \\ d_3 &= -\sin \frac{\alpha_{2,0}}{2} \cos^3 \frac{\alpha_{2,0}}{2}, \\ d_6 &= -d_4 = \frac{d_1 + d_3}{l} \cos \frac{\alpha_{1,0}}{2}. \end{aligned}$$

Едно от приложенията на зависимост (3) е възможността за по-прецизно определяне на динамичния момент, натоварващ трансмисията на автомобила:

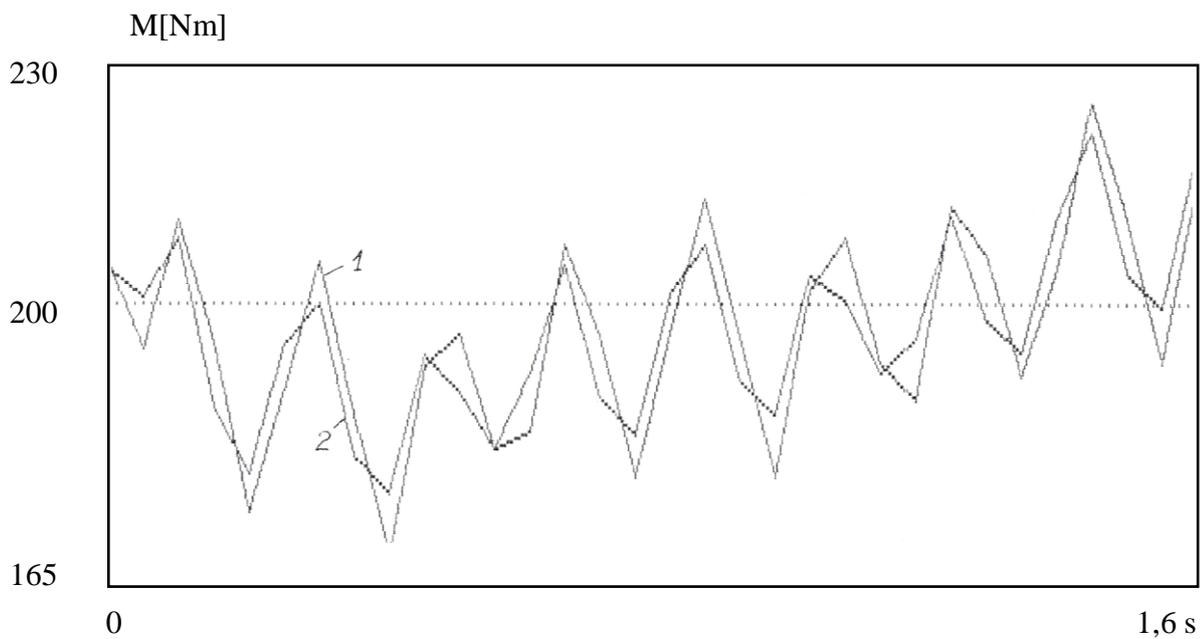
$$M = c_2 (q_8 - q_9 - i_1 i_2 q_4 - \xi) + b_2 \begin{pmatrix} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ q_8 - q_9 - i_1 i_2 q_4 - \xi \end{pmatrix} \quad (4)$$

Тук i_1 и i_2 са предавателните отношения съответно на предавателната кутия и на главното предаване.

Числен експеримент

За да се илюстрира приложението на изведената зависимост (3) за предавателното отношение на нестационарен карданен съединител бе проведен числен експеримент за механичния модел от фигура 1 при дадените в [3] стойности на параметрите. Резултатите са представени графично на фигура 3. Линия 1 представя изменението на динамичния момент (4), когато ξ е във вида (1). Линия 2 показва изменението на същия момент, когато ξ е във вида (3). Наблюдаваната разлика в амплитудите е приблизително 20%.

Отчитането на промяната на ъглите на чупене в двойния карданен съединител съответства в по-голяма степен на реалните процеси в трансмисията и дава възможност да се определи по-точно закона на движение на автомобила.



Фиг. 3.

Литература

- Писарев А.М. Динамика на машини с карданна предавка. С., Техника, 1974.
- Бъчваров С.Н., Писарев А.М., Чешанков Б.И. Механика на карданното движение на твърдо тяло. Год. на ВТУЗ по приложна механика, т.ІІІ, кн.2, 1967.

Пулев Ст.Н., Бъчваров Ст.Н., Кунчев Л.П. Динамичен модел за изследване на съвместните трептения на трансмисията и окачването. Механика на машините, В., 1993, кн.1.

Препоръчана за публикуване от катедра „Техническа механика“, МТФ

КОМПЛЕКСЕН МАТЕМАТИЧЕН МОДЕЛ НА РУДНИЧНА ПОДЕМНА УРЕДБА

Евтим Кърцелин

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: el_emp@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. В рамките на системния подход е получен комплексен математичен модел за руднична подемна уредба като сложна електромеханична система. Математическият модел осигурява възможност за изследване динамичното взаимодействие между основните елементи на подемния комплекс: управляемо електрозадвижване, подемна машина, подедни въжета (главни и уравновесяващи) и армировка на шахтата.

Ключови думи: комплексен математичен модел, руднична подемна уредба, динамическо взаимодействие.

COMPREHENSIVE MATHEMATICAL MODEL OF THE MINE SHEAR SYSTEM

Evtim Kurtzelin

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

ABSTRACT: With the systematic approach have been developed comprehensive mathematical model of the mine shear system as a complex elektromechanical model provides opportunity for research of the dynamic interaction. Between the essential elements of the shear system: manageable electric drive, shear machine, shear ropes (main and counterweigh) and reinforcement of the shaft.

Въведение

За изследване динамическите процеси в елементите на рудничните подедни уредби са работили голям брой научни колективи и изследователи, като получените резултати са изложени в голям брой научни публикации. Същественото в тези научни изследвания е, че те са свързани със сепаратното изучаване само на специални въпроси за динамиката на обекта (например, само на механичната част на подемната машина [7, 17, 20], само за подемните въжета [3, 7] или подемните съдове [18], системата за електрозадвижване, управление и защита [4, 10, 11, 13, 16], спирачна система [19], армировка на шахтата [1, 7, 9], парашутни устройства за подемните съдове [2], въпроси от теорията на РПУ [7, 10, 15, 20, 21], безопасност на РПУ [3, 5, 12, 14, 16, 17, 19]).

При този подход на сепаратното изследване, взаимодействието на елемента от уредбата, се смята за второстепенно. Приемат се редица допускания и ненапълно обосновани работни хипотези. Така например, при изследване на въпроси за автоматизираното задвижване на машината основно внимание по правило се отделя на електродинамическите уравнения и в същото време подемните въжета в най-добрия случай се разглеждат във вид на една или няколко съсредоточени маси. Една руднична подемна уредба представлява съвкупност от взаимно свързани елементи и е необходимо да се разглежда от позициите на системния подход. Само в този случай резултатите от изследванията ще имат необходимата пълнота и достоверност.

Съвременната теория за изследване динамическото състояние на рудничните подедни уредби има достатъчно

солидна основа. Получени са редица интересни и съществени резултати в теоретичен план и е дадена количествена оценка на основните силови фактори. Независимо от тези солидни резултати и успехи, много от получените резултати и решения не са доведени до инженерно приложение. Тази оценка обаче не означава, че всички изчислителни формули трябва да бъдат представени със зависимости от алгебричен тип. При съвременната изчислителна техника е възможно да се изпълни изчисляването на различни по сложност функционални зависимости, включително и решаването на диференциални уравнения. Всичко това обаче трябва да представлява един общ материал, използването на който при изчисляването се свежда до задаването на изходните данни за системата и оценка на получените от изчислителната машина резултати.

В доклада е разработен многофакторен математичен модел, който отчита всички особености на разглеждания обект с отчитане взаимодействието и взаимното влияние на неговите основни елементи.

Комплексен математичен модел на руднична подемна уредба.

Уравненията за движение на рудничната подемна уредба като сложна електромеханична система е възможно да се разделят на пет групи уравнения, които описват процесите в основните елементи на уредбата: електрическа част на машината (система за електрозадвижване), механична част, подедни съдове, водачи, от армировката, подедни уравновесяващи въжета. На фиг. 1 са представени основните принципни схеми на подедни уредби.

Рудничният подемен комплекс се представя като единна динамическа система, пълното изследване на която е възможно само при отчитането на всички съществени фактори, които участват и определят взаимодействието между неговите основни елементи.

Динамика на електрозадвижването

Общите уравнения, които описват електромеханичните процеси в регулируемо тиристорно електрозадвижване на постоянен ток се приемат в следната форма:

$$\left. \begin{aligned} \left(T_n \frac{d}{dt} + 1 \right) F_s &= u_n - \frac{V}{g T_m}, \\ \left(T_n \frac{d}{dt} + 1 \right) u_n &= u_y, \\ a_T T_n \frac{du_y}{dt} &= \left(T_n \frac{d}{dt} + 1 \right) (F_p - F_s), \\ a_T^2 b_T T_n^2 g \frac{dF_p}{dt} &= \left(c_T a_T T_n \frac{d}{dt} + 1 \right) (V_p - V), \end{aligned} \right\} (1)$$

където са приети следните означения:

$$F_e = M_e \frac{R_\theta}{Jg}, \quad F_p = U_{pT} \frac{k\Phi R_\theta}{Jgk_T},$$

$$u_n = E_n \frac{k\Phi R_\theta}{JgR_\alpha}, \quad u_y = U_y \frac{k\Phi k_n R_\theta}{JgR_\alpha},$$

M_e – електродинамичен момент на задвижването, R_θ – радиус на барабана на подемната машина, J – приведен към оста на барабана инерционен момент на въртящи се и постъпателно движещи се елементи на системата, g – земно ускорение, Φ – магнитен поток на статорната намотка на подемния електродвигател, R_α – активно съпротивление на котвената статорната намотка, k и k_n – безразмерни константи, T_n и T_m – съответно времеконстанти на котвената верига и тиристорния преобразовател, T_m – електромеханична времеконстанта, U_{pT} и U_y – съответно управляващо напрежение на входа на регулатор за ток и скорост, E_n – Е.Д.С. на тиристорния преобразовател, a_T , b_T , c_T – безразмерни константи за настройка на регулаторите.

В такъв вид уравнения (1) за първи път са предложени от проф. В.И.Дворников.

Общите уравнения на задвижване на подемни машини с асинхронен двигател с фазен ротор се разглеждат като система уравнения за активна (Ψ_{11}) и реактивна (Ψ_{12}) съставяща на потокосцеплението на статорната намотка в следната форма:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2 \Psi_{11}}{dt^2} + b_1 \frac{d \Psi_{11}}{dt} - b_2 \frac{d \Psi_{12}}{dt} + c_1 \Psi_{11} - c_2 \Psi_{12} &= D_1, \\ \frac{d^2 \Psi_{12}}{dt^2} + b_2 \frac{d \Psi_{11}}{dt} + b_1 \frac{d \Psi_{12}}{dt} + c_2 \Psi_{11} + c_1 \Psi_{12} &= D_2. \end{aligned} \right\} (2)$$

При това изразът за електродинамичния момент M_e се представя в следната форма:

$$M_e = -\frac{P}{R_1} \left\{ \Psi_{11} \frac{d \Psi_{12}}{dt} - \Psi_{12} \frac{d \Psi_{11}}{dt} + \omega_0 (\Psi_{11}^2 + \Psi_{12}^2) + U_0 \Psi_{12} \right\} (3)$$

Във формула (3) са приети следните означения:

$$b_1 = \frac{R_1}{L_{11}} + \frac{R_2}{L_{22}}, \quad b_2 = \omega_0 (1 + S),$$

$$c_1 = R_1 R_2 \left(\frac{1}{L_{11} L_{22}} - \frac{1}{L_{12}^2} \right) - S \omega_0^2,$$

$$c_2 = \omega_0 \left(\frac{R_2}{L_{22}} + S \frac{R_1}{L_{11}} \right),$$

$$D_1 = \frac{dU_0}{dt} + \frac{R_2}{L_{22}} U_0, \quad D_2 = S \omega_0 U_0,$$

P – брой полюси на асинхронната машина, R_1 и R_2 – съответно активни съпротивления на статора и ротора, ω_0 – честота на напрежението на захранващата мрежа U_0 .

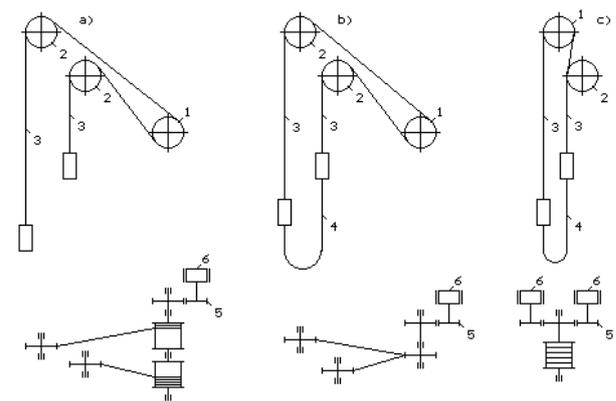
Параметрите L_{jk} са свързани със собствената (L_j) и взаимната (L_{12}) индуктивност на роторната и статорната верига със зависимостите:

$$L_{11} = \frac{L_1 L_2 - L_{12}^2}{L_2}, \quad L_{12} = L_{21} = \frac{L_1 L_2 - L_{12}^2}{L_{12}},$$

$$L_{22} = \frac{L_1 L_2 - L_{12}^2}{L_1}.$$

Хлъзгането на двигателя S се определя от фактическата честота на въртене на ротора ω и честотата на променливия ток ω_0 по следната формула:

$$S = (\omega_0 - \omega) / \omega_0.$$



Фиг. 1. Основни принципни схеми на подемни машини
1 – барабан (или триещя шайба за ШТ и МК), 2 – направляващи (или отклоняващи за МК) шайби, 3 – главни подемни въжета, 4 – уравновесяващи въжета, 5 – редуктор, 6 – задвижващ подемен електродвигател

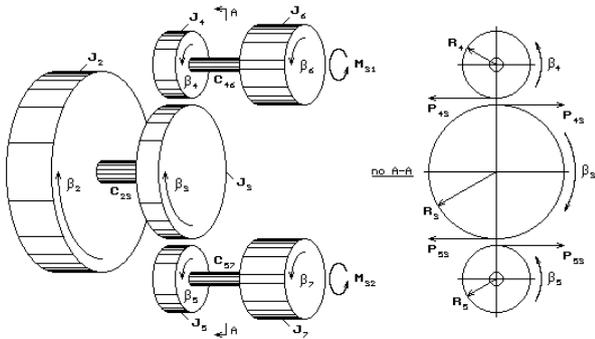
Динамика на подезната машина

Уравненията за изследване на динамиката на елементите на подезната машина, включвайки ротора на двигателя и редукторните двойки зъбни колела, принципните схеми на които са представени на фиг. 2, са приети в следната форма:

$$\frac{d}{dt} \left(J_k \frac{d\beta_k}{dt} \right) + \frac{1}{2} \frac{d}{d\beta_k} \sum_q \gamma_q (\dot{\beta}_{q+1} - \dot{\beta}_q)^2 + \frac{1}{2} \frac{d}{d\beta_k} \sum_q C_{q,q+1} (\beta_{q+1} - \beta_q)^2 = M_k \quad (4)$$

където $k=1, 2, \dots, n$, при което n – общ брой на въртящите се части на двигателя, редуктора и на подезната машина, J_k – кинетически инерционни моменти на двигателя, редуктора и на подезната машина, β_k – ъгли на завъртане на въртящите се елементи, $C_{q,q+1}$ – коравина на еластичните връзки между елементите с номера q и $q+1$, M_k – моменти на външните сили, които въздействат на елемент с номер k , γ_k – коефициент на разсейване на енергията при въртеливото движение при линейно приближение в рамките на хипотезата за външно триене.

При комплектоване на подезната машина с многостепенни редуктори с два входа и съответно с два подезни асинхронни двигателя е възможно привеждане масата на редуктора към някакъв условно приет едностепенен редуктор, както това схематично е представено на фиг. 3.



Фиг. 2. Принципна схема на взаимодействие на елементите на еквивалентен едностепенен редуктор с два входа

Тук се предполага, че J_2 – инерционен момент на барабана, а J_6 и J_7 – инерционни моменти на роторите на двата двигателя. В този случай при отсъствие на луфт между зъбите при зацепването им, уравненията за движение на бавноходното колело с инерционен момент J_3 се записва в следната форма:

$$\left(J_3 + J_4 \frac{R_3^2}{R_4^2} + J_5 \frac{R_3^2}{R_5^2} \right) \ddot{\beta}_3 + C_{23} (\beta_3 - \beta_2) + C_{46} \left(\beta_3 \frac{R_3}{R_4} - \beta_6 \right) \frac{R_3}{R_4} + C_{57} \left(\beta_3 \frac{R_3}{R_5} - \beta_7 \right) \frac{R_3}{R_5} = 0$$

При това силите на взаимодействие между зъбите на бързоходната предавка P_{43} и P_{53} (виж. фиг. 2) се определят от следната система алгебрични уравнения:

$$\left. \begin{aligned} P_{43} (J_4 R_4^2 + J_3 R_4^2) + P_{53} (J_4 R_3^2) &= \\ &= C_{23} J_4 R_3 (\beta_3 - \beta_2) - C_{46} J_3 (\beta_3 R_3 - \beta_6 R_4), \\ P_{43} (J_5 R_3^2) + P_{53} (J_5 R_3^2) &= \\ &= C_{23} J_5 R_3 (\beta_3 - \beta_2) - C_{57} J_3 (\beta_3 R_3 - \beta_7 R_5), \end{aligned} \right\}$$

а ъглите на завъртане β_6 и β_7 се определят с честотата на въртене на роторите двата независими двигателя, електродинамичните моменти на които се описват с независимите системи от типа (2) и (3).

Динамика на подезните въжета

Динамическото състояние главните подезни въжета, определящо в интегрален смисъл динамическите моменти M_1 и M_2 , влизащи в уравненията за движение на машината (4), се описва от система диференциални уравнения (за всяко едно въже по отделно), които за първи път са предложени от М.Ф.Глушко:

$$\left. \begin{aligned} - \left(\frac{\partial}{\partial s} + \gamma_0 \frac{\partial}{\partial t} \right) \left(A \frac{\partial w}{\partial s} + C \frac{\partial v}{\partial s} \right) + \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} &= \pm g, \\ - \left(\frac{\partial}{\partial s} + \gamma_0 \frac{\partial}{\partial t} \right) \left(C \frac{\partial w}{\partial s} + B \frac{\partial v}{\partial s} \right) + \bar{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

където γ_0 – дисипативен коефициент в рамките на хипотезата на Фойхт за вътрешно триене; S – координата на точка на въжето, която се отчита в точката на излизане на въжето от барабана за подезен съд с посока за движение “надолу” и от прицепното устройство за подезния съд, който се движи “нагоре”; $w(s, t)$ – преместване на точка от въжето, имаща координата S ; $v(s, t) = d_x \theta$, където d_x – диаметър на въжето, θ – ъгъл на завъртане сечението на въжето; ρ – линейно тигло на въжето. Коефициенти A, B, C – агрегатна коравина на въжето, където $B = B_0 / d_x^2$, $C = C_0 / d_x$, B_0 и C_0 – съответно коравина на въжето при усукване и при надлъжна усукваща деформация. Параметърът $\bar{\rho}$ се определя от кинетичния инерционен момент I на въжето с единична дължина по формулата $\bar{\rho} = I / d_x^2$.

Изразите за моментите M_1 и M_2 съответно за издигащия се и спускащия се клон имат следния вид:

$$M_1 = R_6 \left[A \frac{\partial w}{\partial s} + C \frac{\partial v}{\partial s} \right]_{s=l(t)},$$

$$M_2 = -R_6 \left[A \frac{\partial w}{\partial s} + C \frac{\partial v}{\partial s} \right]_{s=0}.$$

Уравнението за колебание на уравниваещите въжета имат по-сложна структура в сравнение с уравненията(5) и за тях ще се представят само уравненията за така наречената квазидинамична форма на равновесие. В този случай се използват следните три групи уравнения. Първата група определя съответствието на надлъжното усилие във въжето \bar{F}_3 и усукващия момент \bar{M}_3 с ъглите $\bar{\alpha}$ и $\bar{\beta}$:

$$\left. \begin{aligned} \bar{F}_3 &= D_3 \sin \bar{\beta} - \\ &- [D_1 \sin \bar{\alpha} - (D_2 - \rho g s) \cos \bar{\alpha}] \cos \bar{\beta}, \\ \bar{M}_3 &= \text{const.} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Втората група представлява по-същество две взаимосвързани по-между си уравнения спрямо $\bar{\alpha}$ и $\bar{\beta}$:

$$\left. \begin{aligned} EJ \left(\cos \bar{\beta} \frac{\partial^2 \bar{\alpha}}{\partial s^2} - 2 \frac{\partial \bar{\alpha}}{\partial s} \frac{\partial \bar{\beta}}{\partial s} \sin \bar{\beta} \right) - \bar{M}_3 \frac{\partial \bar{\beta}}{\partial s} &= \\ &= D_1 \cos \bar{\alpha} + (D_2 - \rho g s) \sin \bar{\alpha}, \\ EJ \left(\frac{\partial^2 \bar{\beta}}{\partial s^2} - \left(\frac{\partial \bar{\alpha}}{\partial s} \right)^2 \cos \bar{\beta} \sin \bar{\beta} \right) + \\ + \bar{M}_3 \frac{\partial \bar{\alpha}}{\partial s} \cos \bar{\beta} &= -D_3 \cos \bar{\beta} - \\ &- [D_1 \sin \bar{\alpha} - (D_2 - \rho g s) \cos \bar{\alpha}] \sin \bar{\beta} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Накрая, третата група представлява по-същество уравнения за диференциална взаимовръзка между ъглите $\bar{\alpha}$, $\bar{\beta}$, $\bar{\gamma}$ и надлъжната деформация във въжето \bar{w} с осево усилие \bar{F}_3 и усукващ момент \bar{M}_3 в въжето:

$$\left. \begin{aligned} \bar{F}_3 &= A \frac{\partial \bar{w}}{\partial s} + C \left(\frac{\partial \bar{\gamma}}{\partial s} - \frac{\partial \bar{\alpha}}{\partial s} \sin \bar{\beta} \right), \\ \bar{M}_3 &= B \left(\frac{\partial \bar{\gamma}}{\partial s} - \frac{\partial \bar{\alpha}}{\partial s} \sin \bar{\beta} \right) + C \frac{\partial \bar{w}}{\partial s}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

В уравненията са приети следните означения (6-8):

- $\bar{\alpha}, \bar{\beta}, \bar{\gamma}$ – ъглите на отклонение на надлъжната ос на въжето от вертикалата, ъгъл на деплантация на долния край на уравниваещото въже и ъгъл на завъртане на сечението на въжето около надлъжната ос;
 - EJ – коравина на огъване на въжето.
- Интегралните константи D_1, D_2, D_3 се определят с помощта на следната зависимост:

$$\int_0^L \sin \bar{\alpha} \cos \bar{\beta} ds = a, \quad \int_0^L \cos \bar{\alpha} \cos \bar{\beta} ds = h,$$

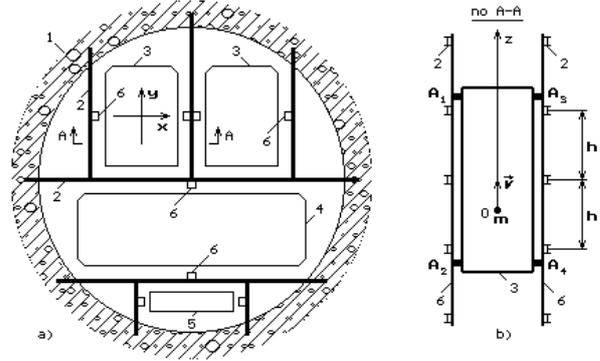
$$\int_0^L \sin \bar{\beta} ds = 0,$$

при което a и h – са съответно хоризонтални и вертикални разстояния между крайщата на въжето, L – пълна дължина на недеформирано въже.

Приведените уравнения за квазидинамичното състояние на уравниваещото въже в първо приближение са напълно достатъчни за интегриране на общата система уравнения за динамиката.

Динамика на подемните съдове

Подемните съдове в по-голямата част от случаите се движат по дълбочината на шахтата по специални дървени или метални водачи (с релсов или коритообразен профил), закрепени на хоризонтални разстрелни греди (разстрели), което в съвкупност се нарича армировка на шахтата (фиг. 4).



Фиг. 3. Принципна схема за армировка на шахта
1 – бетонен крепеж на шахта, 2 – разстрели, 3 – скип, 4 – клетка, 5 – противотежест, 6 – водачи

Диференциалното уравнение за движение на подемния съд, който си взаимодейства в най-общия случай с деформирани водачи от металната армировка, са представени във формата на група уравнения за пълния импулс на подемния съд във вида:

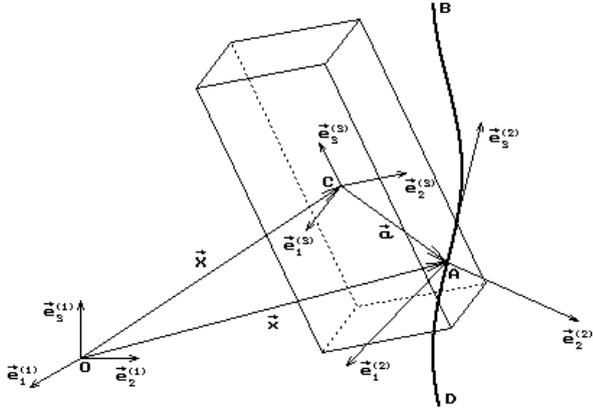
$$m \frac{d^2 X_i^{(1)}}{dt^2} = P_i^{(1)} \quad (i = 1, 2, 3), \quad (9)$$

където m – маса на подемния съд, $P_i^{(1)}$ – координати на вектора на главните сили, действащи на съда, в базис $\bar{e}^{(1)}$, $X_i^{(1)}$ – координати на инерционния център на подемния съд в базис $\bar{e}^{(1)}$.

Втората група уравнения за пълния момент на импулса, силите са записани в проекциите на осите на подвижния репер $\bar{e}^{(3)}$ във формата на уравненията на Ойлер, които се представят по следния начин:

$$I_{ki} \frac{d\omega_i}{dt} + I_j \omega_{ki} \omega_j = M_k^{(3)}, \quad (10)$$

където I_k – тензор на инерцията на подемния съд, ω_k и ω_i – тензор и вектор на ъгловата скорост на подемния съд, $M_k^{(3)}$ – координати на главния момент силите в базис $\vec{e}^{(3)}$ (тук и по-нататък по двата повтарящи се индекса се извършва сумиране от 1 до 3). Координатните на базиса са представени на фиг. 4.



Фиг. 4. Координатна система при извеждане на уравненията за динамиката на подемния съд

Водачът от армировката BD в най-общия случай се приема деформиран и контактува с подемния съд в някаква точка A , която в репера $\vec{e}^{(3)}$ има напълно конкретни координати, неизменяеми при всяко преместване на подемния съд.

Тензор ω_k се определя по следното правило:

$\omega_k = A_j \frac{dA_{kj}}{dt}$, където $A_j = \vec{e}_i^{(1)} \vec{e}_j^{(3)}$ – матрица на направляващите косинуси на навигационните ъгли на Крилов φ, ϕ, θ .

Силата \vec{P} , която се явява реакция от взаимодействието на подемния съд в точка A с водача BD (фиг.4) и имаща в неподвижен координатен базис компонентите $P_k^{(1)}$ ($k=1,2,3$), се разглежда също така в определен координатен базис $\vec{e}^{(2)}$, свързан с повърхност, в съприкосновение с която всъпва в контакт с точка A на подемния съд, при което ортата $\vec{e}_2^{(2)}$ се явява нормална към тази повърхност, а ортата $\vec{e}_3^{(2)}$ е насочена по посоката към допирателната на деформирания водач. По такъв начин, $P_k^{(2)}$ представлява по същество разложение на силата \vec{P} на нормална ($k=1$), тангенциална ($k=2$) и надлъжна ($k=3$) съставяща по отношение на повърхността на контакта. При това

$$P_k^{(1)} = B_{ki} P_i^{(2)}, \quad P_k^{(2)} = B_{ik} P_i^{(1)},$$

където $B_{ik} = \vec{e}_i^{(1)} \vec{e}_k^{(2)}$ – матрица на направляващите косинуси на ъглите между съответните оси на реперите $\vec{e}^{(1)}$ и $\vec{e}^{(2)}$.

Моментът на силата \vec{P} спрямо осите на подвижния репер се определят във форма на векторно произведение

$\vec{M} = [\vec{a} \times \vec{P}] = (a_i P_j^{(3)} \epsilon_{ijk}) \vec{e}_k^{(3)}$, което в тензорна форма има следното представяне - $M_k^{(3)} = a_i A_{ij} B_{ni} P_j^{(2)} \epsilon_{ijk}$, където ϵ_{ijk} – символ на Леви-Чивита. Компонентите на $P_i^{(2)}$ в най-общия случай е възможно да се явяват функции на премесването $X_k^{(2)}$ в точка A в координатен базис $\vec{e}^{(2)}$, ето защо

$$x_k^{(2)} = B_{ik} (X_i^{(1)} + a_j A_j).$$

Така например, ако силата \vec{P} явява като резултат от деформацията (свиването) на еластичния елемент (направляващите ролки), без прекъсване на контакта, между подемния съд и водачите от армировката, то нормалната сила в случая на линейна коравина се изчислява по следната формула:

$$P_1^{(2)} = -C_3 x_1^{(2)} = -C_3 B_{i1} (X_i^{(1)} + a_j A_j),$$

а тангенциалната и надлъжната сила ще се определят съответно:

$$P_2^{(2)} = -f_2 P_1^{(2)} \operatorname{sgn}(\dot{x}_2^{(2)}),$$

$$P_3^{(2)} = -f_3 P_1^{(2)} \operatorname{sgn}(\dot{x}_3^{(2)}),$$

където f_2 и f_3 – коефициенти на триене при тангенциално плъзгане на направляващите ролки по водачите и коефициент на триене при люлеене, C_e – еквивалентна коравина на системата «направляваща ролка - водач», $\dot{x}_2^{(2)}$ и $\dot{x}_3^{(2)}$ – съответно тангенциална и надлъжна съставяща на скоростта на движение на направляващите ролки спрямо водачите. Съвкупността от приведените уравнения осигуряват единство на системата уравнения за динамиката на подемния съд (9) и (10).

Уравнения за динамиката на водачите от армировката на шахта

За осигуряване на нормално и безопасно движение на подемния съд по вертикална шахта и подемния комплекс да изпълнява своите технологични функции, най-често се приема решение за движение на подемния съд по направляващи водачи. Това решение се реализира чрез използването на водачи, монтирани по цялата дълбочина на шахтата и направляващи устройства, монтирани към подемния съд. Хоризонталното положение на подемния съд се определя (ограничава) от луфта между водачите и направляващите устройства на подемния съд. Най-често се приема решение за движение на подемния съд по два водача, като направляващи устройства са монтирани в четири точки на подемния съд.

На фиг. 3 е показана схема за армировка на вертикална шахта и разположението на водачите спрямо подемния съд.

Диференциалното уравнение, описващо динамиката на твърди водачи от армировката на вертикалната шахта има следното представяне

$$EJ_e \frac{d^4 U_i}{ds^4} + \rho_e \frac{d^2 U}{dt^2} + \sum_{n=1}^{N-1} \left(m_p \frac{d^2 U_i}{dt^2} + C_p \cdot U_i \right) \delta(s - n \cdot h) + \sum P_i^{(2)} \cdot \delta(s - z) = 0 \quad (11)$$

където $U_i(s, t)$ – функция за напречното преместване на точки от водачите в хоризонтална равнина; EJ_e , ρ_e – коравина на огъване и линейна маса на водачите; m_p и C_p – присъединена маса и коравина на разстрелите в точката на присъединяване на водача; h – стъпка на армировката; N – брой на разстрелните греди в шахтата; $P_i^{(2)}$ – външна сила която действа на водача в точката $s=z$. Очевидно е, $P_i^{(2)}$, въведена тук и $P_i^{(2)}$, въведена при разглеждане движението на подемния съд, са тъждествено равни по модул. Действието на външните сили върху водачите е представено с помощта на функцията на Дирак δ .

Редуциране на уравненията за взаимодействие между елементите на подемен комплекс

Интегрирането на общата система диференциални уравнения за динамиката на подемната уредба в такъв вид, в какъвто са представени в този доклад, е свързано със значителни трудности от математичен и изчислителен характер. Естествения подход за получаване решението на подобна система е свързан с опростяване на системата диференциални уравнения. За да може получените решения да бъдат приложими за целите на инженерната практика, и което е особено важно, при опростяване уравненията да не бъдат лишени от това физическо съдържание, което е заложено в изходната система, основната задача се състои преди всичко в разработването на целесъобразен метод за решаване на получената система уравнения за взаимодействия между елементите на подемен комплекс. Методът от една страна трябва да дава достатъчно точни решения, а от друга – да не бъде твърде сложен, тъй като поради голямата сложност на системата в цяло и прекомерно тънкия подход към решаване на задачата е възможно да не даде необходимата точност на резултатите.

Най-общия метод за решаване на уравнения в частни производни се състои по правило, в намаляване броя на степените на свобода на механичната система с разпределени маси. Построяването на решение във форма на разлагане по собствени, координатни или базисни функции, не е нищо друго, освен като метод, при който вместо система с безкраен брой степени на свобода се разглежда като система с ограничения. В това се състои и най-общия подход за редукция на система уравнения в частни производни. В редица случаи редукцията към едно уравнение (уравнение с първо приближение) дава

необходимата точност в решението, което зависи само от удачно подбраната координатна функция. Следователно, редукцията на уравненията в частни производни се свързва с избор и определяне степените на свобода, което в общия енергиен баланс на системата се явяват основни носители на енергийната информация.

Същността на разработените методи за редукция на получените диференциални уравнения в частни производни, е подробно изложено в [7].

Принципи за построяване на програмни модули на математическите модели на рудничен подемен комплекс

Числената реализация на разработените методи за решаване на диференциални уравнения в частни производни, основан на привеждането им към редуцирани уравнения, в съвкупност образуващи общ математичен модел за динамическото състояние на рудничен подемен комплекс, се осъществява с използването на съвременни електронно-изчислителни машини. При това към програмното осигуряване на симулационното моделиране се предявяват следните основни изисквания:

1. Възможност за моделиране на основните типове подемни комплекси, обзаведени с подемни машини барабанен тип и многовъжени, задвижвани с електродвигатели на променлив и постоянен ток, регулирани чрез задаване на скоростта.
2. Възможност за моделиране на основните динамически състояния и режими на движение: товаро-разтоварните операции на подемните съдове, разстопоряване на подемната машина (спирачното усилие става равно на нула), програмируемо движение, застопоряване, предпазно спиране.
3. Възможност за моделиране движението на подемните съдове по зададени или генерирани по случаен закон деформации на водачите, при зададени якостни характеристики на направляващите устройства при различни практически реализируеми схеми за армировка на шахтата и при различни разположения на направляващите ролки на подемния съд.
4. Възможност за моделиране на екстремни ситуации: приплъзване на подемните въжета спрямо задвижващия барабан; навлизане на подемния съд с удар върху препятствия (амортизатори), удари на направляващите устройства на подемния съд в мястото на стиковане на водачите.
5. Възможност за моделиране на разпределение на силите между подемните въжета при многовъжените подемни машини.

Реализацията на такива изисквания в конкретни програмни модули предявяват строги изисквания към заеманата оперативна памет на използваната изчислителна машина, необходима за записване на базата данни и сходна информация и за реализиране на определена скорост на изчислителния процес. Последното изискване в идеалния случай се свежда до това, че

машинното време за изчисляване не трябва да бъде по-малко от времето за протичане на реалния процес който се изследва, т.е. до изпълнение на условието:

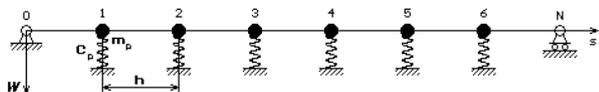
$$\text{„машинно време“} < \text{„реално време“}$$

Удовлетворяването на това строго изискване става възможно (за електронно-изчислителни машини, имащи скорост на изчисляване от порядъка на 10^6 операции за секунда) само в резултат на разработената специална алгоритмизация за числено интегриране на система диференциални уравнения.

В [7] са получени итерационни формули, които съществено се отличават от известните итерационни формули на Ойлер, Рунге-Кута и др. Основното предимство на тези зависимости се състои в това, че те позволяват да се изпълни интегриране на уравнения със значително по-голяма стъпка, която се изисква, например при итерационните формули по метода на Ойлер [21].

Един нов резултат при изследване динамиката на рудничните подемен уредби

На фиг.5, схематично е представен един от водачите на подемния съд, който извършва например, хоризонтални колебания.



Фиг. 5. Изчислителна схема на водача от армировката на вертикална шахта, представен като греда на еластични масивни опори

Приема се, че водачът има постоянна коравина на огъване EJ по цялата си дължина L и линейна плътност ρ . В равноотстоящи една от друга точки със стъпка h водачът се опира на еластични опори, които имат линейна коравина C_p . В същите тези точки се разполага съсредоточената маса m_p , който по същество представляват приведените (присъединени) маси на разстрелните греди. Броят на еластичните опори се приема $N-1$, при което N е възможно да бъде достатъчно голямо, което ще бъде близко до съществуващите системи. В краищата си (в точки O и N) се приема, че водача е закрепен шарнирно. Всички опори са номерирани с номера от 0 до N .

За такава изчислителна схематизация на случаите, когато подемния съд се представя като материална точка, в нулево приближение уравнението за движение на подемния съд има следното представяне:

$$\ddot{x} + \mu^2 f(\tau)x = 0, \quad (12)$$

В първо приближение, отчитайки масата на водачите, за първи път е получено уравнението в вида:

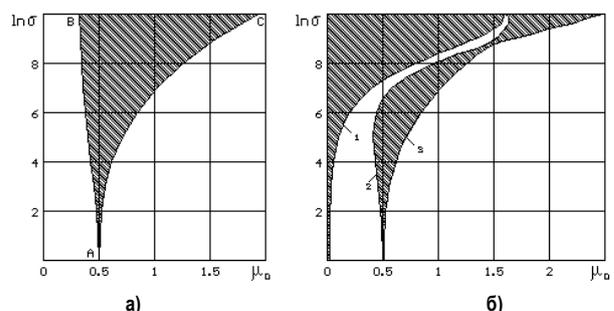
$$\frac{d^2 x}{d\tau^2} [1 + \varepsilon f_1(\tau)] + 2\varepsilon \frac{dx}{d\tau} f_2(\tau) + x [\mu^2 f_2(\tau) + \varepsilon f_3(\tau)] = 0, \quad (13)$$

В (13) са приети следните означения:

$$\tau = \frac{V_m t}{h}, \quad \xi = \frac{s}{h}, \quad \mu^2 = \frac{C_p h^2}{m V_m^2}, \quad \varepsilon = \frac{\rho h}{m},$$

където m – маса на движещия се подемен съд, V_m – максимална скорост на движение на подемния съд. Функцията $f(\tau)$ е свързана с модифицираната функция на влияние от нулев ред и представлява по същество известната функция за коравина, подробно изследвана в работите на Н.Г. Гаркуши, А.П. Ветрова и В. И. Дворников.

Уравненията (12) и (13) принадлежат към класа уравнения на Хил и за първи път по тях в работите на Н.Г. Гаркуши, А.П. Ветрова и В. И. Дворников е построена диаграма за областта на демултипликационен резонанс, представена на фиг. 6а. Изключително важно е да се отбележи, че повече от 50 години диаграмата, показана на фиг.6а.се използва за определяне на условията за възникване на резонанс в системата „подемния съд – армировка“ при проектиране на нови и реконструкция на стари РПУ. Подобна диаграма построена въз основа на уравнението (13) е показана на фиг. 6б за $\varepsilon = 0,01$, получена за първи път от автора.



Фиг. 6. Области на демултипликационен резонанс без отчитане масата на водачите (отляво) и с отчитане масата на водачите (отдясно)

Както се вижда от фиг. 6б, дясната граница на демултипликационния резонанс (крива 3) при $\ln \sigma < 8$ практически не се отличава от крива AC за случая $\varepsilon = 0$, като при големи стойности на σ – рязко се премества надясно, което води до естественното свиване на работната дорезонансна зона. Но най-важното качествено отличие в получената нова диаграма в сравнение със случая при $\varepsilon = 0$ се състои в появата на така нареченият от автора «субдемултипликационна» област на резонанс, ограничена отдясно с кривата 1 и се простира до $\mu_0 \rightarrow 0$ ($V_m \rightarrow \infty$). При това лявата граница на

демултипликационния резонанс (крива 2) значително се отличава от съответстващата и крива **AB**.

Изложената теория може да се използва също така и в задачите за движение на маса с постоянна скорост по греда, която се намира на еластична винклеровска основа.

Изводи:

Независимо от голямото многообразие на съществуващите подедни комплекси, които се различават по-между си както по принципа на действие, така и по състав на елементите, е показана възможността да се даде комплексно математическо описание за динамическото състояние на всички основни елементи на разглежданата система.

В резултат на извършеното изследване е установено:

1. Динамиката на електрозадвигването на подедни комплекс се описва с компактна система диференциални уравнения от тензорен тип. За регулируемо задвижване получените уравнения дават възможност да се изучат динамическите процеси в сложни преходни режими на пускане, при изключване на спирачните усилия върху машината, движение с променлива скорост при произволно зададен закон за неиното изменение.

2. Диференциалните уравнения за движение на дискретни маси на подедната машина, свързани по между си с еластични връзки, стават съществено нелинейни, ако се отчита луфта в кинематичните двойки зъбни елементи на редуктора. Получените уравнения с нелинейности е необходимо да се разглеждат при изучаването режима на начално пускане и особено при спиране на подедната машина.

3. Динамическото състояние на подедните и уравниващи въжета се описват с компактна система нелинейни уравнения от тензорен тип. Тези уравнения са приложими за описване движението както на един праволинеен отвес на въже, така и на наклонено висящо и особено на уравниващи въжета, отчитане на геометричната нелинейност, който при други подходи за математическо описание представлява най-голяма трудност.

4. Движението на подедни съд като твърдо тяло се описва със система диференциални уравнения, който за разлика от съществуващите модели отчитат съществена връзка на подедните съдове с главните и уравниващи въжета, който обуславят не само стабилизиращо въздействие на подедни съд в надлъжна посока, но и се явяват източници за напречни сили и усукващи моменти. Записването на уравненията за движение във формата на сили позволява да се отчитат инерционните сили на водачите от армировката.

5. Изследването на колебанията на водачите на подедни комплекс (кораби метални релси и специални профили, гъвкави въжени), които се описват със съществено различни уравнения е възможно да бъде осъществено на основата на идентичния подход, благодарение на общността на изразите за усилията на взаимодействие с направляващите устройства на подедни съд.

6. Получените диференциални уравнения за динамическото състояние на основните елементи на подедни комплекс имат ярко изразена взаимозависимост, което се осъществява с въвеждането на условията за кинематични и силови връзки. С това се осигурява в рамките на системния подход цялост и единство на комплексния математичен модел на разглежданата електромеханична система.

7. Разработените модели са реализирани и адаптирани за персонални компютри и същите трябва да се разглеждат от общата система за техническо обслужване и ремонт по техническото състояние на обекта и на средствата за техническата диагностика.

8. Предлаганите модели се препоръчва да се използват през всичките етапи на проектирането на РПК, към които се включват и проектното задание, тъй като позволява още на ранен стадии на проектно-конструкторски решения да се открият "слабите" страни на бъдещата система и своевременно да се избегнат конфликтни ситуации.

Литература

1. Баклашов И.В., Расчет, конструирование и монтаж армировки стволов шахт, М., Недра, 1973.
2. Белый В.Д. и др., Шахтные парашюты, М., Госгортехиздат, 1960.
3. Бережинский В.И., Контроль несущей способности шахтных канатов и нормирование их предельного состояния, Дисерт. на соиск. уч.ст. „докт. техн. наук“, г. Макеевка, Украина, 1987.
4. Белоцерковский А.А., Основы теорий, разработка и внедрение средств защиты современных подъемных установок, Автореферат дисерт. на соиск. уч.ст. „докт. техн. наук“, г. Донецк, Украина, 1985.
5. Ветров А.П., Дворников В.И., Определение области резонансных режимов работы динамической системы „Сосуд-армировка“, Изв. ВУЗ „Горный журнал“, 1967, №9.
6. Гаркуша Н.Г., Дворников В.И., Об устойчивости движения шахтных подъемных сосудов, Сб. „Вопросы горной механики“, ИГМТК им. М.М.Федоров, вып.17, М., Недра, 1967, с. 156-168.
7. Дворников В.И., Кърцелин Е.Р. Теоретические основы динамики шахтного подъема. МОНТ, София, 1997.
8. Дворников, В.И., Е.Р.Кърцелин. Гармонический резонансный подъем. Изв.ВУЗ „Горный журнал“, 2001, № 2, с.97.
9. Залесов О.А. Армировки вертикальных стволов шахт и исследование на электронных моделирующих установок, М., Недра, 1966.
10. Католиков В.Е. и др., Автоматизированный электропривод подъемных установок глубоких шахт, М., Недра, 1983.
11. Католиков В.Е. и др., Применение микроЭИМ для управления автоматизированными электроприводами шахтного подъема, сер. „Добыча угля подземных способом“, Обзор/ЦНИЭ Уголь, вып. 1, 1985
12. Кърцелин Е. Р. и др. Определяне параметрите на движение на рудничните подедни уредби в режим на предпазно спиране. – Год. На МГУ «Св. Иван Рилски», т. 40, III, 1994, с. 41-43.

13. Кърцелин Е. Р. и др, Електрозадвигване на руднични подедни уредби с вентилни двигатели. Сб. доклади на нац. конференция с межд. участие "Автоматика и информатика '95", София, 7-9 ноември 1995, с. 331-334.
14. Кърцелин Е. Количествена оценка за качеството на апаратите за защита на руднични подедни уредби, Сб. доклади на научно-техн. конференция с межд. участие "Автоматика и информатика '97", София, 1997, с. 91-94.
15. Кърцелин Е. и др. Програмният комплекс за расчета шахтних подедних установок., Сб. доклади на научно-техн. конференция "Охрана на труда в подземните и откритите рудници и кариерите", Варна, 1998, т. 2, с. 228-231.
16. Мурзин В.А. и др. Защита рудничних подедних установок от превишения скорости, М., Недра, 1974.
17. Макаров М.И., Кърцелин Е.Р., Надежность шахтних подедних машин, ДонГТУ, Донецк, 1996.
18. Пришвицын В.М., Расчет прочности клетей рудничного подъема., М., Угледшахиздат, 1949.
19. Траубе Е.С. и др. Тормозные устройства и безопасность шахтних подедних машин. М., Недра, 1980, с.256.
20. Федоров М.И., Избранные труды в двух томах, Киев, изд. АН УССР, 1960, том I и II.
21. Формалев В.Ф., Ревизников Д.Л., Численные методы, М., Физматлат, 2004.

Препоръчана за публикуване от катедра „Електрификация на минното производство”, МЕМФ

ИЗСЛЕДВАНЕ ФАКТОРИТЕ, ВЛИЯЕЩИ ВЪРХУ ЕЛЕКТРОЗАХРАНВАНЕТО НА ОСНОВНИТЕ ТОВАРАЧНИ МАШИНИ В РУДНИК „АСАРЕЛ”

Евтим Кърцелин¹, Николай Минеков²

¹МГУ „Св. Иван Рилски”, 1700, София

²Асарел - Медет” АД, гр. Панагюрище

РЕЗЮМЕ. В доклада е направен анализ на факторите, влияещи върху електрозахранването на основните товарачни машини, работещи в рудник „Асарел”. Извършена е обработка и анализ на данните за престои на багерите, поради прекъсване на електрозахранването за период от 24 месеца.

STUDY THE FACTORS AFFECTING ON POWER SUPPLY OF THE MAIN LOADERS MACHINES IN “ASSAREL” MINE

Evtim Kurtzelin¹, Nikolai Minekov²

¹University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, Sofia, Republic of Bulgaria

²“Asarel-Medet” Ltd, Panagyriste, Republic of Bulgaria

ABSTRACT. An analysis of the factors having impact on the electric supply of basic loading machines operating in the Assarel Mine is made in the report. Processing and analysis of data is made for shovel downtimes due to interruption of electric supply for a period of 24 months.

Увод

„Асарел-Медет” АД се намира в Същинска средна гора - на 11 км северозападно от гр. Панагюрище и на 90 км източно от столицата София, като заема площ от около 20 000 дка със средна надморска височина от 1000 м. Фирмата първа в света организира ефективен добив и обогатяване на медни руди със съдържание на мед под 0,5 %.

Основните производствени звена на дружеството са открит рудник и обогатителен комплекс.

В открития рудник за изкопаване и натоварване на отбитата скална маса върху транспортните средства се използват хидравлични багери RH 120, LIEBHERR R 994 задвижвани от двигатели с вътрешно горене; хидравлични багери LIEBHERR ER 994 задвижвани от електрически двигатели и челни товарачи CATERPILLAR.

Условията за експлоатация на изкопно – товарачните машини в открития рудник „Асарел” са много разнообразни и непостоянни в резултат, на което работата им е свързана с чести прекъсвания с различна продължителност. Поради това анализът на структурата на работното време, видовете престои и тяхното влияние върху производителността на механизацията е изключително важен [5].

Фактори, влияещи върху производителността на багерите

Основни причини за спиране на производствения процес в рудника са планово – предупредителните ремонти на механизацията /ППР/. Освен ППР са характерни и други причини за прекъсване на производствения процес, дефинирани както следва:

1. Престои за планоу и аварийен ремонт:

1.1. ППР;

1.2. Престои за отстраняване на механични аварии /МА/;

1.3. Престои за отстраняване на аварии в електросъоръженията /Ел. А/.

2. Организационно–технологични престои:

2.1. Престои на багери, поради проблеми с приемането на руда в обогатителната фабрика;

2.2. Престои на багери, поради проблеми с приемането на откривка в циклично – поточната технология /ЦПТ/;

2.3. Престои на багери, поради липса на машини за транспортиране на минна маса /липса на руднични технологични автосамосвали/;

2.4. Престои на багери, поради извършване на взривни работи;

2.5. Престои, поради зареждане с ГСМ;

2.6. Престои, поради преместване на багерите на ново работно място.

За отчитане на престои на оборудването за извършване на планоу и аварийни ремонти, ежедневно се отчита коефициент на техническа готовност Ктг:

$$K_{mz} = (te + tmn) / T, \% \quad (1)$$

където *te* – време в експлоатация;

tmn – време в технологичен престой;

T – режимен фонд работно време.

За отчитане на престои на оборудването, поради организационно технологични причини ежедневно се отчита коефициент на използване Ки:

$$K_u = te / (T - tp), \% \quad (2)$$

където t_e – време в експлоатация;

T – режимен фонд работно време.

t_p – време за планов и аварийен ремонт.

Коефициентите K_u и K_{mg} оказват пряко влияние върху ежедневната, месечна и годишната производителност на минните машини и изпълнение на плана за добив на минна маса [2, 3].

В настоящия доклад е извършен анализ на факторите, предизвикващи прекъсване на електрозахранването на основните товарачни машини с електрическо задвижване, работещи в рудник „Асарел“.

Фактори, водещи до прекъсване електрозахранването на багерите

Вътрешното электроснабдяване на рудник „Асарел“ е реализирано с въздушни линии /ВЛ/ и кабелни линии /КЛ/. Захранването им се осъществява от построена на територията на рудника понижаваща подстанция.

Въздушните линии се делят на постоянни и временни. Постоянните са изградени по борда на рудника или по неработните хоризонти, а временните – по работните хоризонти.

Захранването на подвижните консуматори в рудника /багери/ е осъществено чрез подвижни руднични превключвателни пунктове и гъвкави кабели за напрежение 6 kV. Консуматорите за ниско напрежение /сонди, помпени уредби и др./ се захранват посредством трансформаторни постове, присъединени към въздушните електропроводи.

Анализът на престоите на багерите, поради прекъсване на електрозахранването е извършен на база наблюдения за период от 24 месеца. От 01.12.2006 г. до 01.12.2008 г. са реализирани престои, в следствие прекъсване на електрозахранването, които могат да бъдат класифицирани по следния начин:

1. Организационно – технологични престои:

1.1. Удължаване, корекция на ВЛ;

1.2. Преместване на ВЛ, поради технологична необходимост, без промяна на работното място на багерите;

1.3. Удължаване на КЛ;

1.4. Презахранване;

1.5. Преместване на ВЛ, КЛ и превключвателни пунктове, при преместване на багерите на ново работно място.

2. Организационно – предпазни престои – превантивно прекъсване на електрозахранването, с цел предотвратяване възникване на аварии:

2.1. Изключване на извод, поради гръмотевична буря;

2.2. Изключване на извод, поради силен вятър;

3. Престои, поради възникване на аварии по електропреносната мрежа:

3.1. Падане на стълбове от ВЛ;

3.2. Повреди в изолаторите на ВЛ;

3.3. Възстановяване на прекъснати проводници, вследствие на силен вятър;

3.4. Възстановяване на прекъснати проводници, вследствие натрупан сняг и обледяване;

3.5. Възстановяване на проводници, прекъснати вследствие на взривни работи;

3.6. Късо съединение между фазови проводници;

3.7. Късо съединение между фазов проводник и земя /еднофазно земно съединение - е. з. с./;

3.8. Късо съединение между фазови проводници, вследствие на допиране от автосамосвал;

3.9. Липса на захранване, вследствие извършване на диагностика на ВЛ чрез обхождане на трасето;

3.10. Възстановяване на аварии в подвижни превключвателни пунктове;

3.11. Възстановяване на начални и крайни кабелни накрайници;

3.12. Възстановяване на прекъснати кабели, вследствие падане на камък;

3.13. Възстановяване на прекъснат кабел, вследствие на недопустимо опъване от багера;

3.14. Подмяна на кабел, вследствие понижена изолация;

Статистически данни за продължителността и честотата на престоите е показана в таблица № 1. От данните се вижда следното:

1. Общата продължителност на престоите на багерите, поради прекъсване на електрозахранването е 912 часа за период от 24 месеца и влияе за намаляване на Ктг с 2,61 % на всеки багер.

2. Най – голям процент от общата продължителност на престоите /39,69 %/ имат престоите за преместване на ВЛ, КЛ и подвижните превключвателни пунктове, с цел преместване на багерите на ново работно място. Ктг намалява с 1,033 %;

2. 17 % от общата продължителност на престоите е за извършване на удължаване, коригиране на ВЛ. Ктг намалява с 0,44 %;

3. 8,99 % - организационно – предпазни прекъсвания на електрозахранването, вследствие на гръмотевични бури и силен вятър. Ктг намалява с 0,24 %;

4. 7,4 % - за преместване на ВЛ, поради технологична необходимост, без промяна на работното място на багерите. Ктг намалява с 0,193 %;

5. 7,4 % - за презахранване. Ктг намалява с 0,193 %;

6. 19,52 % от общата продължителност на престоите е за отстраняване на случайно възникнали аварии на елементи от рудничната электроснабдителна система. Ктг намалява с 0,51 %.

На фигура № 1 е показана кръгова диаграма на процентното разпределение на времето за престой за всеки отделен фактор.

Съкращения:

ШС - шинна система;

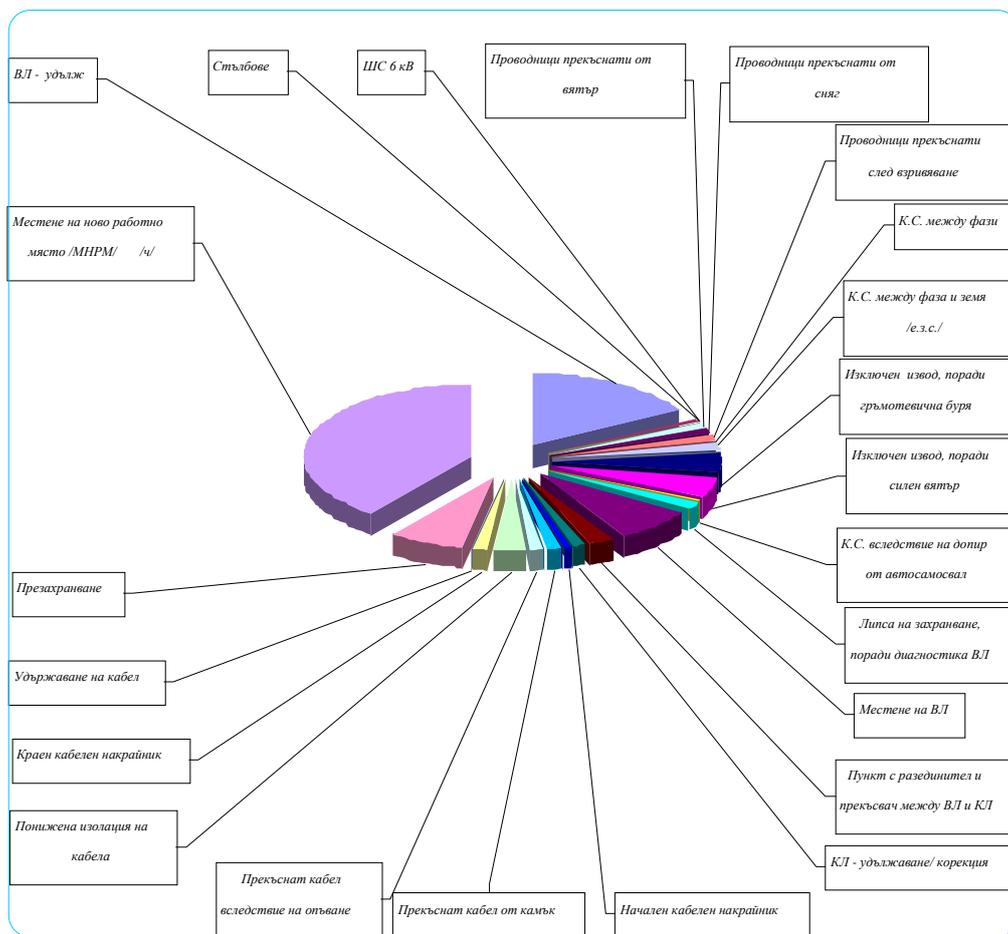
КРУ - комплексно разпределително устройство;

КС - късо съединение;

е.з.с. - еднофазно земно съединение;

ВЛ - въздушна електропреносна линия;

КЛ - кабелна електропреносна линия.



Фиг. № 1

Изводи

- От направения анализ следва, че редица фактори с различна тежест оказват влияние върху K_{mg} , респективно производителността на багерите
- За намаляване престойте по причина на случайно възникнали аварии в елементи от рудничната електроснабдителна система е необходимо:
 - Усъвършенстване на системите за техническо обслужване;
 - Усъвършенстване технологиите за ремонт;
 - Използване на съвременни методи за бързо откриване на проблемите;
 - Усъвършенстване схемата на електроснабдяване на открития рудник с използване на съвременни апарати за релейна защита;
 - Непрекъснато повишаване на квалификацията на операторите на багерите и на обслужващия ремонтен персонал;
 - Усъвършенстване на провежданите мероприятия за поддържане в изправно състояние на електрическите уредби по време на съхранението им [4].
- Авариите в елементите на електропреносната руднична мрежа, освен необосновани престои на високопроизводително минно оборудване, оказват негативно влияние върху режима на работа на електрическите консуматори, тъй като са съпроводени с възникване на комутационни

пренапрежения /пренапрежения при къси и земни съединения/.

Литература

- Георгиев М. Техника на високите напрежения. Печатна база при ВМЕИ „В. И. Ленин“, София, 1983 г.
- Цоцорков Л. Д. Основи на фирмената куртура в минно - обогатителен комплекс "Асарел- Медет" АД, Панагюрище. Рекламна агенция "Агора", 1996 г.
- Цоцорков Л. Д., Кърцелин Е.Р., Дворников В.И., Минеков Н., Енергиен подход за избор на транспортна система при разработване на рудник „Асарел“ в дълбочина, Сб. доклади „X-та юбилейна национална конференция с международно участие по открит и подводен добив на полезни изкопаеми“, 7-11 юни 2009 г., Варна, Р.България.
- Кърцелин Е.Р., Математически модели за изследване на руднични системи за електроснабдяване, год. на МГУ «Св. Иван Рилски», т. 44-45, св. III, 2002, с. 63-66.
- Заварикин Б.С. и др., Анализ отказов оборудованя системы электроснабжения экскаватора, Пром. Энергетика, 1989, №4.
- Наредба №3 за устройство на електрическите уредби и електропроводните линии, обн. Д.в., бр. 90 и 91 от 2004 г.
- Правилник по безопасност на труда при разработване на находища по открит начин, МТСГ, ГИТ, София, 1996 г.

Препоръчана за публикуване от катедра „Електрификация на минното производство“, МЕМФ

ОПРЕДЕЛЯНЕ ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА ИЗПОЛЗВАНИ МЕТОДИ ЗА РЕГУЛИРАНЕ ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТТА НА ЦЕНТРОБЕЖНИ ПОМПИ

Евтим Кърцелин¹, Румен Истилиянов², Николай Минев³, Йоана Младенова¹

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

² Минно-геоложки университет, "Св. Иван Рилски", София 1700, България, E-mail: rgi@mgu.bg

³ Асарел - Медет" АД, гр. Панагюрище

РЕЗЮМЕ. Изложена е методика за сравнителна оценка на разхода на електроенергия при изменение производителността на центробежните помпи при дроселно регулиране и честотно регулиране оборотите на асинхронния двигател, задвижващ помпата.

Ключови думи. Центробежни помпи, регулиране на производителност, енергийна ефективност.

DETERMINATION OF THE POWER EFFICIENCY OF METHODS USED FOR ADJUSTMENT THE EFFICIENCY OF ROTARY PUMPS

Evtim Kurtzelin¹, Roumen Istalianov¹, Nikolai Minekov², Ioana Mladenova¹

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

²"Asarel-Medet" Ltd, Panagiyriste, Republic of Bulgaria

ABSTRACT. The article introduces a methodology for comparative evaluation of the electric power consumption at changing the centrifugal-type pump capacity through throttle control and frequency control of the induction motor speed, driving the pump.

Key words. Rotary pumps, adjustment of the efficiency, power efficiency

Въведение

Енергетиката на XX век ще се развива в две основни направления, а именно:

- развитие на енергетиката на основата на възобновяемите източници на енергия и нови технологии в областта на ядрената енергетика;
- развитие и усъвършенстване на технологичните процеси и техническите системи с цел намаляване на тяхната енергоемкост.

Един от основните критерии за качеството и нивото на технологичните процеси и техническите системи, използвани във всички сфери на човешката дейност през XXI век ще бъде свързан с тяхната енергоемкост. За по-съвършени и на по-високо ниво ще се приемат тези, които са с по-ниска енергоемкост.

Ето защо една изключително актуална задача пред съвременната наука е свързана с разработването на методи за изследване и енергиен анализ в резултат на който да се направи оценка до колко ефективно е използването на енергията, за да изпълни своите полезни функции – производство на продукция, преобразуване на енергия от един вид в друг, за осигуряване на комфорт или предоставянето на полезни услуги за човека.

В доклада е изложена методика за оценка разхода на електроенергия при изменение производителността на

центробежни помпи при дроселно регулиране и с честотно регулиране оборотите на асинхронния двигател, задвижващ помпата.

При постоянни обороти на задвижващия двигател, работната точка на помпената уредба в установен режим се определя от пресечната характеристика на помпата, съответстваща на тези обороти и характеристиката на напорния тръбопровод, към който е включена помпата.

Характеристиката на една центробежна помпа изразява зависимостта на напора H от производителността (разхода) Q , която с достатъчна степен на точност се представя в следния вид [3]:

$$H = H_{ом} \left(\frac{\omega}{\omega_{ном}} \right) C Q^2, \quad (1)$$

където $H_{ом}$ - напор на помпата при $Q = 0$ и $\omega = \omega_{ном}$;

$\omega_{ном}$ - номинални обороти на електродвигателя, задвижващ помпата;

$Q_{ном}$, $H_{ном}$ - съответно номинална производителност и напор на помпата;

C - конструкционна константа на помпата, която се определя от израза:

$$C = \frac{H_{ом} - H_{ном}}{Q_{ном}^2}.$$

Характеристиката на напорния тръбопровод [3] има следното аналитично представяне:

$$H = H_c + RQ^2, \quad (2)$$

където H_c - статичен напор (противоналягане), съответстващо на $Q = 0$ (затворена задвижка);

R - коефициент, характеризиращ съпротивлението на напорния тръбопровод и се определя с израза:

$$R = \frac{H_{OM} - H_{НОМ}}{Q_{НОМ}^2}$$

Характеристиките на използваните методи за регулиране на производителността на помпен агрегат и напорен тръбопровод са представени на фиг.1.

Мощността, която консумира двигателят на помпата се определя с израза:

$$P_1 = \frac{P_{мех}}{\eta},$$

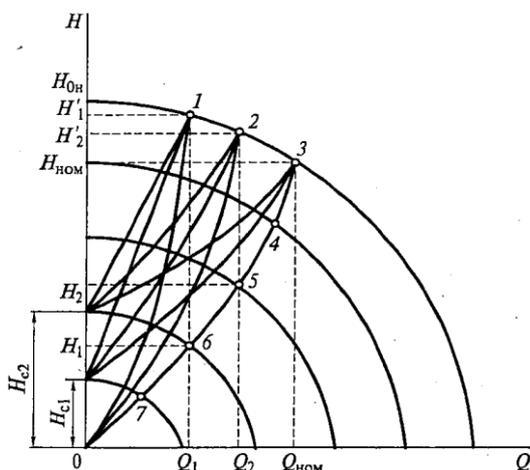
където $P_{мех}$ - мощността на вала на двигателя, задвижващ помпата;

η - КПД на двигателя.

Механичната мощност $P_{мех}$ се определя по формулата :

$$P_{мех} = M_c \cdot \omega,$$

където M_c - статичен съпротивителен момент на вала на двигателя.



Фиг.1. Характеристика на методи за регулиране на центробежни помпи: 1, 2, 3 - работни точки при дроселно регулиране на производителност; 4, 5, 6, 7 - работни точки при дроселно регулиране на производителността за сметка изменение на оборотите на двигателя, задвижващ помпата.

Дроселното регулиране производителността на центробежни помпи е основано на изменение съпротивлението на напорния тръбопровод. В този случай при $\omega = \omega_{НОМ} = const$ и при изменение съпротивлението на напорния тръбопровод, работната точка на механизма се премества по Q-H-характеристиката съответстваща на номиналните обороти на двигателя, в посока на намаляване на производителността до пресечната точка с новата характеристика на напорния тръбопровод (точка 1, 2, 3 на фиг. 1).

При електрически метод за регулиране производителността на помпения агрегат (честотно

регулиране оборотите на двигателя) работната точка се премества по неизменната характеристика на напорния тръбопровод (точки 4, 5, 6, 7 на фиг. 1). В този случай, с намаляване на производителността се намалява и необходимия напор, което води до намаляване на статичната мощност, необходима за работа на помпата със зададена производителност, в сравнение с дроселното регулиране.

Ще се анализира **КПД** на двигателя при различни методи за регулиране на производителността, без да се отчитат загубите в стоманата и загубите от тока на празен ход в двигателя.

При честотно управление на асинхронен двигател, осъществено при постоянство на абсолютното плъзгане се записва следният израз [4]:

$$\eta_1 = \frac{1}{1 + \frac{\omega_{НОМ}}{\omega} \cdot \frac{S_{НОМ}}{1 - S_{НОМ}} (1 + \alpha)},$$

където $S_{НОМ}$ - номинално хлъзгане на двигателя;

α - коефициент, който се определя с отношението на активните съпротивления на фазите на статора R_1 и

ротора R_2 , т.е. $\alpha = R_1 / R_2$.

При дроселно регулиране производителността на помпения агрегат, когато $\omega = \omega_{НОМ} = const$, **КПД** на двигателя е постоянен и се изчислява по формулата:

$$\eta_1 = \frac{1 - S_{НОМ}}{\alpha S_{НОМ} + 1}.$$

За да се получат изчислителни изрази във функция от разхода, хлъзгането на двигателя е възможно да се изрази чрез производителността. За тази цел във формула (1) израза $(\omega / \omega_{НОМ})^2$ се заменя с израза $[(1 - S) / (1 - S_{НОМ})]^2$ и решавайки полученния израз съвместно с израз (2) спрямо S се получава следната формула:

$$S = 1 - (1 - S_{НОМ}) \sqrt{h_c + Q_*^2 (1 - h_c)} = 1 - (1 - S_{НОМ}) A \quad (3)$$

където $h_c = \frac{H_c}{H_{OH}}$;

$$Q_* = Q_{НОМ};$$

$$A = \sqrt{h_c + Q_*^2 (1 - h_c)}.$$

Зависимостта на изразения в относителни единици момент на турбомеханизма при неговата работа на напорен тръбопровод с постоянни параметри има следния вид:

$$\mu = \mu_{oc} \left(\frac{\omega}{\omega_{НОМ}} \right)^2 + (1 - \mu_{oc}) \frac{\omega}{\omega_{НОМ}} \sqrt{\frac{(\omega / \omega_{НОМ})^2 - h_c}{1 - h_c}} \quad (4)$$

където μ - относителен момент на вала на турбомеханизма, определен с отношението

$$\mu = \frac{M}{M_{сmax}};$$

$M_{сmax}$ - максимален статичен момент на вала на механизма, който се преодолява при $\omega = \omega_{НОМ}$;

μ_{oc} - статичен момент на вала (M_{oc}) при $Q_* = 0$ (затворена задвижка), изразен в относителни единици,
 $\mu_{oc} = M_{oc} / M_{cmax}$.

Изразите (3) и (4) позволяват да се определят момента, КПД, скоростта и мощността, консумирана от мрежата във функция от производителността на помпата при зададен статичен напор (противоналягане). За универсално използване на изчислителните формули е целесъобразно да се определи мощността в относителни единици: $P_{1*} = P_1 / P_\delta$, като за базисна мощност P_δ се приеме максималната статична мощност на вала на двигателя P_{cmax} при $\omega = \omega_{ном}$, т.е. $P_\delta = P_{cmax} = M_{cmax} \cdot \omega_{ном}$.

Ако се приеме, че $M_{cmax} = M_{ном}$ ($M_{ном}$ - номинален момент на двигателя, $M_{ном} = P_{ном} / \omega_{ном}$), то за базовата мощност се получава $P_\delta = P_{ном}$.

Изразите, за изчисляване на консумираната мощност P_{1*} при различните методи за регулиране производителността на центробежни помпи приемат следния вид:

- при дроселно регулиране

$$P_{1*} = \frac{[\mu_{oc} + (1 - \mu_{oc})Q_*] \cdot (1 + \alpha S_{ном})}{1 - S_{ном}} \quad (5)$$

- при честотно регулиране

$$P_{1*} = [\mu_{oc} A^3 + (1 - \mu_{oc}) A^2 Q_*] \cdot \left[1 + \frac{S_{ном} (1 + \alpha)}{(1 - S_{ном}) A} \right] \quad (6)$$

Изразите (5) и (6) позволяват да се изчисляват консумираната от помпата мощност при дроселно и честотно регулиране в зависимост от производителността Q_* и да се направи сравнителна оценка между разглежданите методи на регулиране. Както следва от (5) и (6), при дроселно регулиране и зададена стойност на производителността Q_* консумираната мощност P_{1*} зависи от μ_{oc} , α , $S_{ном}$, а при честотно регулиране консумираната мощност P_{1*} зависи от h_c , μ_{oc} , α , $S_{ном}$. Задавайки тези параметри за конкретните условия на работа на помпения агрегат и избрания тип двигател или за серия двигатели, е възможно да се направи изчисляването на стойностите:

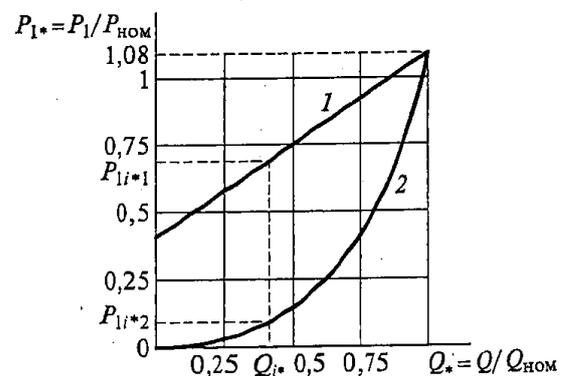
$$P_{1*} = f(Q_*).$$

В Таблица 1. са приведени относителни стойности за консумираната мощност P_{1*} във функция от относителния разход Q_* (производителност) за дроселно и честотно регулиране при $\mu_{oc} = 0,4$; $\alpha = 1$, $S_{ном} = 0,06$.

Използвайки формули (5) и (6) е възможно да се получат определени графически зависимости, които да илюстрират икономията на електрическа енергия при използване на честотно регулиране оборотите на асинхронния двигател, задвижващ центробежната помпа, в сравнение с дроселното регулиране. На фиг.2 са представени графическите зависимости $P_{1*} = f(Q_*)$ при дроселно и честотно регулиране производителността на центробежна помпа, построени от Таблица 2.

Таблица 1.
 Консумираната мощност от електрозадвижването на центробежна помпа при дроселно и честотно регулиране в зависимост от производителността и статичния напор.

Разход Q_*	P_{1*}					
	Дроселно регулиране	Честотно регулиране $h_c =$				
		0	0,2	0,4	0,6	0,8
0	0,43	0	0,04	0,11	0,2	0,31
0,2	0,56	0,01	0,08	0,18	0,3	0,42
0,4	0,69	0,08	0,16	0,28	0,41	0,55
0,6	0,82	0,24	0,35	0,45	0,58	0,7
0,8	0,95	0,56	0,64	0,71	0,8	0,87
1	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08



фиг. 2. Графическо представяне на зависимостта $P_{1*} = f(Q_*)$ при дроселно (крива 1) и честотно (крива 2) регулиране

Задавайки производителност (Q_{i*}) е възможно да се изчисли консумираната мощност при дроселно (P_{1i*1}) и честотно регулиране (P_{1i*2}) и да се определи икономията на консумирана мощност:

$$\Delta P_{1i*} = P_{1i*1} - P_{1i*2},$$

което позволява да се изчислява намаляването на годишните разходи по стойността на електроенергията при честотно регулиране на асинхронните двигатели, задвижващи центробежните помпи в сравнение с дроселното регулиране.

Както следва от данните представени в Таблица 1, с увеличаване на статичния напор h_c се намалява икономията на енергия при използване на честотното регулиране. Все пак, при произволни стойности на h_c системата за технологична автоматизация осигурява поддържането на постоянен напор H в системата, независимо от производителността (разхода), което позволява да се избегне ненужното налягане, присъщо на дроселното регулиране. Този показател е изключително съществен, тъй като в редица технологични системи, които в промишлеността и комуналната сфера, които нормално не се намират в аварийно състояние, всяка излишна атмосфера налягане (равняващо се на 10 m воден стълб)

предизвиква допълнително 2 ÷ 7 % загуба на вода за сметка на утечките [4].

За оценка влиянието на началния статичен момент (μ_{oc}) върху консумираната мощност в таблица 2. е представена зависимостта $P_{1*} = f(Q_*)$ за дроселно и честотно регулиране при $\mu_{oc} = 0$ и $h_c = 0$.

Таблица 2.

Консумирана мощност от електрозадвижването на центробежна помпа при различни методи за регулиране производителността на помпата и при начален статичен момент $\mu_{oc} = 0$ и статичен напор на водата $h_c = 0$.

Метод на регулиране	Q_*					
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
P_{1*} при дроселно регулиране	0	0,22	0,44	0,66	0,88	1,08
P_{1*} при честотно регулиране	0	0,01	0,08	0,24	0,56	1,08

При сравнението на данните в Таблица 1. и Таблица 2. следва извода, че при намаляване на μ_{oc} , икономията на

Препоръчана за публикуване от кат. „Електрификация на минното производство”, МЕМФ

консумираната мощност при използване на честотно – регулируемо електрозадвижване се намалява.

Приведените изрази (5) и (6) са получени при условието, че **КПД** на центробежната помпа е равен на единица и остава постоянен при всички режими на работа. На практика обаче **КПД** на помпите е по-малък от единица и се намалява практически при всяко отклонение от номиналния режим на работа.

Литература

1. Закон за енергийната ефективност, Д.в., бр. 98 от 2008г.
2. Исталиянов Р., Сравнителна оценка на възможни решения за намаляване на разходите за водоотлив на подземен рудник, Год. На МГУ"Св. Иван Рилски", том 51, св. III, стр. 121-127.
3. Онушенко Г. Б., Юнков М.Г., Электропривод турбомеханизмов, М., Энергия, 1972.
4. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Энергосберегающий асинхронный электропривод, М., АКАДЕМИЯ, 2004.
5. Лезонов Б.С., Экономия электроэнергии в насосных установках, М., Энергоатомиздат, 1991.
6. Маевский О.А., Энергетические показатели вентильных преобразователей, М., Энергия, 1978.

ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА НАПРЕЖЕНИЕТО ВЪРХУ ЗАГУБИТЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЕНЕРГИЯ В СИНХРОННИ ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

Евтим Кърцелин¹, Николай Минеков², Румен Исталианов¹, Йоана Младенова¹

¹ МГУ „Св. Иван Рилски“, 1700 София

² „Асарел - Медет“ АД, гр. Панагюрище

РЕЗЮМЕ. Изследвано е влиянието на захранващото напрежение върху отделните видове загуби и върху общите загуби на електрическа енергия в синхронни електродвигатели.

STUDY THE INFLUENCE OF THE VOLTAGE AT LOSS OF ELECTRICITY IN SYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS

Evtim Kurtzelin¹, Nikolai Minekov², Rumen Istalianov¹, Ioana Mladenova¹

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

² "Assarel-Medet" Ltd, Panagyurishte, Republic of Bulgaria

ABSTRACT. Examination the influence of supplying voltage on the separate kinds of losses and on the total losses of electric power in the synchronous electric motors.

Въведение

Един от основните фактори, които определят конкурентноспособността на едно съвременно промишлено предприятие е свързан с използването на технологични процеси с ниска енергоемкост. По този критерий обаче почти всички технологични процеси в областта на минната промишленост се оценяват като процеси с изключително висока енергоемкост.

Тази обективна даденост днес прави изключително актуална задачата за провеждане на научни изследвания за енергоемкостта във всички звена и елементи на технологичните процеси в минната промишленост.

За разработването на конкретни решения за намаляване разхода на електрическа енергия в едно промишлено предприятие е необходимо преди всичко да се разработи количествен баланс на загубите на електроенергия в електроразпределителната мрежа и в електропотребителите в границите на предприятието. Анализът на съществуващото положение по предприятия показва, че отделите в предприятията, които отговарят за експлоатацията на цялото електростопанство и участват в планиране доставката на електроенергия, не разполагат с информация за дела на загубите на електрическа енергия (по елементи на електроразпределителната мрежа и по електроконсуматори) в общия енергиен баланс на предприятието.

Основната причина за това състояние е липсата на широко достъпен метод за изчисляване загубите на електрическа енергия в елементите на електроразпределителната мрежа и в електропотребителите.

Този проблем не се решава и в процеса на обследване енергийната ефективност на технологичните процеси в промишленото предприятие, което днес е по силата на закон и специална наредба се извършва за всеки мощен електропотребител.

Благодарение на редица положителни качества в сравнение с други видове електродвигатели, синхронните електродвигатели са получили широко приложение в различни отрасли на промишленото производство. За машини и механизми, които не изискват регулируемо електрозадвижване при мощност над 500 kW се използват преди всичко синхронни двигатели. Развитието и производството на съвременни преобразуватели на честота с различна мощност и ниска пазарна цена разшириха още повече областта на използване на синхронните електродвигатели.

За реализиране производствената дейност на „Асарел – Медет“ АД, 60% от инсталираната двигателна мощност се пада на синхронните електродвигатели и 40% на асинхронните. Тази обективна даденост поставя задачата за изследване режима на работа на синхронните двигатели и оценка на възможните решения за намаляване разходите на електроенергия.

Изследване влиянието на напрежението върху загубата на електрическа енергия в синхронните двигатели

Един от факторите, които оказват най-съществено влияние върху загубите на електроенергия в промишлените уредби се явява нивото на напрежението в захранващата мрежа.

В този доклад ще се разгледа влиянието на напрежението на захранващата мрежа върху загубите на електроенергия в синхронен електродвигател (СД).

За нагледност на получените резултати ще се проанализира влиянието на напрежението на електрическата мрежа върху отделните видове загуби в СД, а след това и върху общите загуби в синхронния двигател.

В съответствие с [7] видовете електрически загуби в СД зависят от режимните параметри на работа на СД и се определят по следния начин:

$$P_{Ch,S} = \left[\alpha^2 \operatorname{tg}^2 \varphi_{ном} + \left(\frac{\beta_M}{U} \right)^2 \right] D_{3S} \cdot \quad (1)$$

$$P_{Fe,S} = (\alpha x_\sigma \sin \varphi_{ном} + U)^2 D_{4S} \cdot \quad (2)$$

$$P_f = \alpha U \cdot D_{1f} + \alpha^2 D_{2f} + \left(\frac{\beta_M}{U} \right)^2 D_{3f} + U^2 D_{4f} \cdot \quad (3)$$

където:

$P_{Ch,S}$, $P_{Fe,S}$, P_f - загуби в статорната намотка, стоманата на статора и във възбудителната намотка;

$\alpha = \frac{I_S \sin \varphi}{I_{Sном} \sin \varphi_{ном}}$ - коефициент на натоварване на СД по реактивен ток;

$\beta_M = \frac{U_S I_S \cos \varphi}{U_{Sном} I_{Sном} \cos \varphi_{ном}}$ - коефициент на натоварване на СД по активна мощност;

I_S , $I_{Sном}$ - пълен фазен ток в статорната намотка и неговата номинална стойност;

U_S , $U_{Sном}$, U - напрежение на статорната намотка, неговата номинална и относителна стойност;

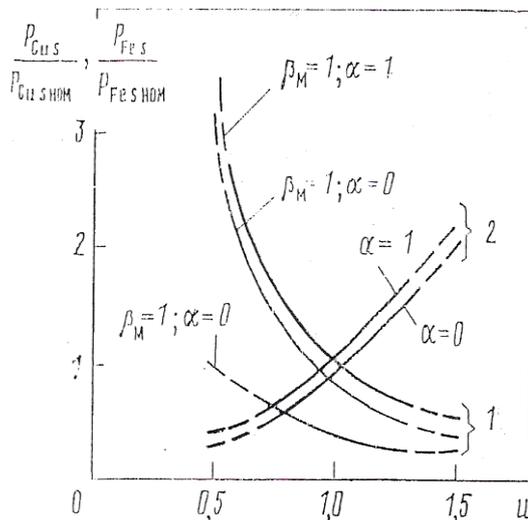
x_σ - индуктивност на разсейване в статорната намотка от СД;

$D_{1f} \div D_{4f}$, $D_{1S} \div D_{4S}$ - коефициенти, определени чрез параметрите на СД.

Анализът на израз (1) показва, че при зададени стойности на коефициента β_M и α увеличаването на напрежението на клемите на статорната намотка на СД води до намаляване на загубите в статорната намотка, което се илюстрира с крива 1 на фиг.1.

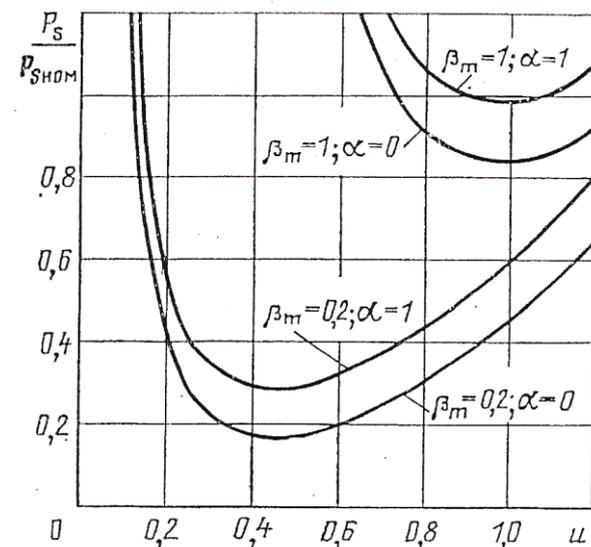
От анализа на израз (2) и от крива (2) на фиг.1 следва, че с нарастване на напрежението на захранващата мрежа води и до нарастване на загубите в стоманата на статора. Пълните загуби в статора на СД се определят с израз:

$$P_S = P_{Ch,S} + P_{Fe,S} \quad (4)$$



Фиг.1. Зависимост на загубите в намотката (криви 1) и в стоманата на статора (криви 2) от стойността на напрежението на клемите на синхронен двигател тип ДС3 2116-16

На фиг.2 са представени графически зависимостта на пълните загуби в СД от напрежението на захранващата мрежа.



Фиг.2. Зависимост на пълните загуби на мощност в статора от стойността на напрежението на клемите на синхронен двигател ДС3 2116-16

Анализът на израз (4) показва, че минималната стойност на пълните загуби в статора на СД се получава при стойност на напрежение в захранващата мрежа, определен с израз:

$$U_{PSmin} \approx 0,5 \left(\sqrt[3]{F_S} + \sqrt[4]{F_S} \right) \cdot \quad (5)$$

където:

$$F_S = \frac{2\beta_M^2 D_{3S}}{\alpha D_{1S} + 2D_{4S}} \cdot$$

От израз (3) следва, че при зададени стойности на β_M и α минималните стойности на загубите във възбудителната

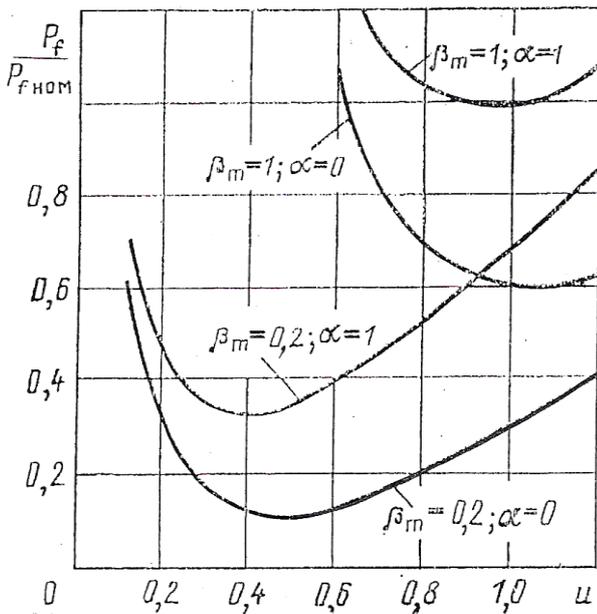
намотка се получава при следната стойност на напрежение-то на захранващата мрежа:

$$U_{P_{f \text{ min}}} \approx 0,5 \left(\sqrt[3]{F_f} + \sqrt[4]{F_f} \right). \quad (6)$$

където:

$$F_s = \frac{2\beta_M^2 D_{3f}}{\alpha D_{1f} + 2D_{4f}}.$$

На фиг.3 е представена графическата зависимост между загубите във възбудителната намотка на СД и нивото на напрежението на захранващата електрическа мрежа.



Фиг.3. Зависимост на загубите на мощност във възбудителната намотка от стойността на напрежението на клемите на статорната намотка на синхронен двигател тип ДСЗ 2116-16

Сравнението на изразите (5) и (6) показва, че напрежението на захранващата, при което се достигат максимални стойности на загубите в статора и във възбудителната намотка на синхронния двигател, в най-общия случай не съвпадат.

Общите електромагнитни загуби в СД се получават чрез събиране на загубите в намотката и стоманата на статора и на загубите във възбудителната намотка:

$$\begin{aligned} P_\Sigma &= P_{CuS} + P_{FeS} + P_f = \\ &= \alpha U (D_{1s} + D_{1f}) + \alpha^2 (D_{2s} + D_{2f}) + \\ &+ \left(\frac{\beta_M}{U} \right)^2 (D_{3s} + D_{3f}) + U^2 (D_{4s} + D_{4f}). \quad (7) \end{aligned}$$

Минималната стойност на общите електромагнитни загуби в СД се получават при следната стойност на захранващото напрежение на електрическата мрежа:

$$U_{P_\Sigma \text{ min}} \approx 0,5 \left(\sqrt[3]{F_\Sigma} + \sqrt[4]{F_\Sigma} \right). \quad (8)$$

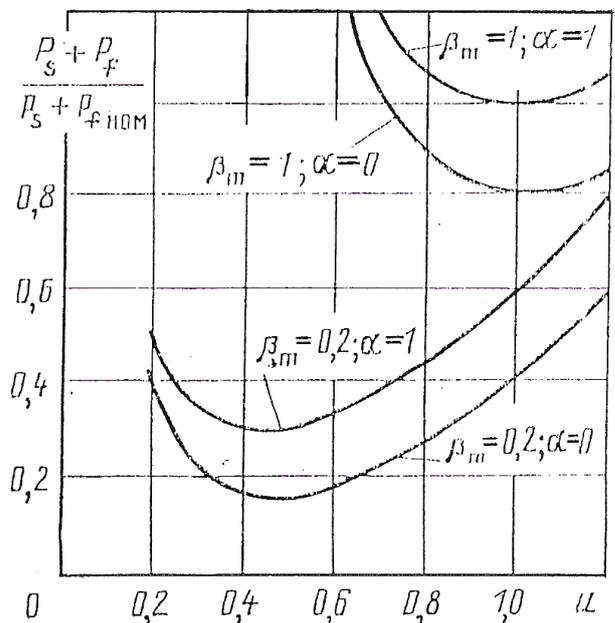
където:

$$F_\Sigma = \frac{2\beta_M^2 (D_{3s} + D_{3f})}{\alpha (D_{1s} + D_{1f}) + 2(D_{4s} + D_{4f})}.$$

При $\alpha = 0$, което се явява един частен случай, формула (8) приема следния вид:

$$U_{P_\Sigma \text{ min}} = \sqrt[4]{F_s}. \quad (9)$$

На фиг.4 са представени графически зависимостта на общите електромагнитни загуби в синхронен двигател от напрежението на захранващата мрежа при различни стойности на коефициентите α и β_M .



Фиг.4. Зависимост на общите загуби на мощност (в статора и във възбудителната намотка) от напрежението на клемите на статорната намотка на синхронен двигател тип ДСЗ 2116-16

Изводи

1. При зададени стойности на коефициентите α и β_M стойностите на напрежението на захранващата електрическа мрежа, при които се получава минимална стойност на загубите в статорната намотка, в стоманата на статора и във възбудителната намотка на един синхронен двигател са различни. Минимизиране на загубите във възбудителната намотка е възможно да се реализира например при въвеждането на допълнителното условие – минимално нагряване на възбудителната намотка. Изпълнението на това условие от своя страна ще доведе обаче до увеличаване на загубите в статора и общите загуби в СД.

Съответното минимизиране на загубите в статора води до увеличаване на загубите във възбудителната намотка и на общите загуби в СД.

2. Общите загуби в СД имат минимална стойност при напрежение на захранващата мрежа, определено по формула (8). При тази стойност на напрежението обаче загубите във възбудителната намотка и статора, а следователно и тяхното нагряване ще превишават минимално възможните стойности.

3. Нагряването над допустими стойности, определени от класа на използваната изолация води до значително съкращаване на експлоатация на ресурс на синхронния двигател.

4. Влиянието на активния товар върху напрежението, при които се постигат минимални общи загуби в СД, е съществено по-силно в сравнение с реактивния товар.

Литература

1. Данаилов, Д. Рационално използване на електроенергията в минните предприятия. С., Техника, 1985.
2. Закон за енергийната ефективност. Д.В., бр.18 от 05.03.2004 г.
3. Маркушевич, Н. С. Регулирование напряжения и экономия электроэнергии. Москва., Энергоатомиздат, 1984.
4. Наредба №РД-16-294 от 01.04.2008г. за обследване на енергийната ефективност. Д. в., бр.38 от 2008 г.
5. Наредба №3 от 9.06.2004г. за устройството и електрически уредби и електропроводните линии. Д.в., бр.90 и 91 от 2004 г.
6. Орел, О. А. Оптимизация режимов работы синхронного двигателя по критерию минимума электромагнитных потерь., Электричество., 1988, №3.
7. Правилник за безопасността на труда при разработването на находища по открит начин. С., 1996.

Препоръчана за публикуване от кат. „Електрификация на минното производство”, МЕМФ

ОТКАЗИ В ЕЛЕКТРОСНАБДИТЕЛНИТЕ СИСТЕМИ НА РУДНИК "ТРАЯНОВО -СЕВЕР"

Тодор Върбев¹, Цанко Георгиев², Иван Котов³

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

² Технически Университет – София, Факултет Автоматика

³ „Челопеч Майнинг“ ЕАД, с. Челопеч, България

РЕЗЮМЕ. Работата е посветена на изследване на отказите в електроснабдителните системи на открития рудник "Трояново-север" към мини "Марица изток" – ЕАД. Събрани са и са обработени данни за отказите за период от пет години. Класифицирани са причините предизвикали отказите в електроснабдителната система. Статистическата обработка на данните е направена в програмните среди MATLAB и STATGRAPHICS.

FAILURE ANALYSIS OF THE POWER SUPPLY SYSTEMS IN OPEN-AIR MINE "TROJANOV-NORTH"

Todor Varbev¹, Tsanko Georgiev², Ivan Kotov³

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

² Technical University – Sofia, Faculty of Automation

³ "Chelopech Mining" Ltd, village Chelopech, Bulgaria

ABSTRACT. This article deals with safety analysis of the electrical power supply systems in open - air mine "Trojanovo-north" of the mines "Maritza-east" – Ltd.. The data of failures are collected and investigated for five years time period. Classification of failures by reason of events is presented. All statistical researches are carried out using MATLAB and STATGRAPHICS packages.

Въведение

Мини „Марица изток“ ЕАД е най – голямото въгледобивно предприятие за добив на въглища по открит начин в Република България. Добива и транспорта на полезното изкопаемо се осъществява с тежко минно оборудване включващо: верижни багери, роторни багери, релсов транспорт и гумено-лентови транспортъори. Изброеното минно оборудване се захранва с електрическа енергия от изградената на територията на предприятието електроснабдителна система. В нея са включени десетки понижавачи трансформаторни подстанции. Основната част от тях преобразуват напрежението от 110 kV / 6 kV, а има и такива с тринамотъчни трансформатори за напрежение 110 kV / 20 kV / 6 kV.

Електроснабдяването на електрическите консуматори се осъществява от изградената електрическа мрежа за средно напрежение включваща: външни линии изпълнени с проводници тип AC/ACO/ монтирани на железорешетъчни стълбове и кабелни линии.

Електроснабдителната система включваща подстанция и изградената към нея мрежа е важно звено от технологичният процес при добива на въглища. Надежността на това звено е от особено значение за непрекъснатостта на технологичния процес.

Проведен е анализ на отказите на електроснабдителната система на подстанция „3-ти март“ захранваща електрическите консуматори в рудниците „Трояново – 1“ и „Трояново – север“. Подстанцията е трансформаторна и се захранва с напрежение 110 kV чрез вход „Староселец“ и вход „Звезда“. Оборудвана е с четири силови трансформатори с номинална мощност $S_n = 25 \text{ MVA}$. Два от тях са двунамотъчни за напрежение 110 kV / 6.3 kV, а другите са тринамотъчни за напрежение 110 kV / 20 kV / 6 kV. С напрежение 6 kV, чрез двадесет и четири извода (24) се захранват електрическите консуматори в посочените по – горе рудници. От четири извода се захранват електрическите консуматори с напрежение 20 kV.

Отказите в електроснабдителната система на подстанцията „3-ти март“ са наблюдавани в продължение на шестдесет (60) месеца в периода от 02.03.2003 г. до 12.04.2009 г., с изключение на 2004 г. Общият брой на регистрираните откази е 227. Данните са събрани от оперативните дневници в подстанцията и от тези на дежурните енергийни диспечери Данните за отказите са обработени по месеци и са установени месеците с най – голям брой откази общо за подстанцията. Това са: за 2003г- септември - 6 отказа, декември – 12 отказа; за 2005 г. – май – 3 отказа, юли – 4 отказа, октомври – 6 отказа; за 2006г.- март – 9 отказа, юни – 8 отказа; за 2007 г. – юни – 4 отказа; за 2008 г. – юни – 6 отказа; за 2009 г. – януари и февруари по 7 отказа, март – 21 отказа и април – 8 отказа. За този период най – много откази в изводите за напрежение 6 kV са регистрирани в седем (7) извода: Страхил – 11, Айтос –

17, Вършец – 31, Даниела – 18, Тервел – 31, Гурко – 10 и Бенковски – 15. В три от четирите извода за напрежение 20 kV също са регистрирани голям брой откази: Деница – 20 отказа, Мая – 13 отказа и Чавдар – 13 отказа.

Анализирани са и причините, които са предизвикали отказите за наблюдавания период в рудника.

Най – често изключвания са настъпвали след повреди в кабелните линии за 6 и 20 kV. Общо 107 повреди, което е 47.1 % от общия брой. От земни съединения изключванията са 20 или 8.8 %. Голям е броят на „неустановени причини“ предизвикали изключвания в електроснабдителната система, 57 или 25% от общия брой изключвания.

Основни резултати

За да се получи по-голяма представа за отказите като събитие в електроснабдителната система данните са обработени статистически в програмната среда на продукта STATGRAPHICS (1996). Получените основни параметри на статистическата съвкупност са показани в долната таблица, Таблица 1.

Таблица 1.Обобщени статистически резултати

Брой (обемна извадка)	59
Средна стойност	3.66932
Медиана	3.0
Геометр. средно отклонение	2.7094
Дисперсия	7.28521
Средноквадратично отклонение	2.69911
Стандартна грешка	0.351395
Минимум	1.0
Максимум	12.0
Размах	11.0
Коефициент на вариация	75.8322%
Сума	227

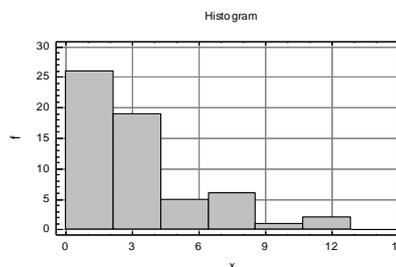
За определяне на закона на разпределение на случайната величина е построена таблицата на разпределението, Таблица 2.

Таблица 2. Таблица на честотите на отказите.

№	Долна граница	Горна граница	Средна точка	Честота
	-∞	0		0
1	0.0	2.14286	1.07143	26
2	2.14286	4.28571	3.21429	19
3	4.28571	6.42857	5.35714	5
4	6.42857	8.57143	7.5	6
5	8.57143	10.7143	9.64286	1
6	10.7143	12.8571	11.7857	2
7	12.8571	15.0	13.9286	0
	15.0	∞	0	0
№	Относителна честота	Кумулативна честота	Относителна честота	
∞	0,000	0	0,000	
1	0.4407	26	0.4407	
2	0.3220	45	0.7627	

3	0.0847	50	0.8475
4	0.1017	56	0.9492
5	0.0169	57	0.9661
6	0.0339	59	1,0000
7	0.0000	59	1,0000
∞	0,0000	59	1,0000

По данните от статистическата таблица е построена хистограма на разпределението на случайната величина, фиг. 1.



Фиг.1.Хистограма на отказите.

На фигурата са използвани означенията: x - брой откази за месец, f -честота на отказите.

От формата на построената хистограма и по посочените в Бекерон П.Г. (1975) показатели сме предположили, че разпределението на случайната величина може да се опише с логаритмичнонормалния закон, Гама-разпределението или с разпределението на Вейбул. Направена е проверка на хипотезите за съответствието им с емпиричното разпределение по критериите на Колмогоров и Пирсън. Отчетените вероятности на съответствие са:

- По закона за логаритмичнонормално разпределение,

$$\text{по Колмогоров } P[\lambda] = 0.19337,$$

$$\text{по Пирсън } P[\chi^2] = 0.312692;$$

- По закона за Гама разпределение,
по Колмогоров $P[\lambda] = 0.335086,$

$$\text{по Пирсън } P[\chi^2] = 0.802781;$$

- По закона за разпределение на Вейбул,
по Колмогоров $P[\lambda] = 0.255027,$

$$\text{по Пирсън } P[\chi^2] = 0.680349.$$

Плътноста на вероятностната функция за трите закона на разпределение се дава с изразите:

- за логаритмичнонормално разпределение,

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\ln(x)-\theta)^2}{2\sigma_1^2}},$$

където параметрите на разпределението σ_1 и θ се определят от изразите $\sigma_1^2 = \ln(1 + v^2)$,

$$\theta = \ln \bar{x} - 0.5\sigma_1^2;$$

- при Гама разпределение

$$f(x) = \frac{\lambda^k x^{k-1}}{\Gamma_K} \cdot e^{-\lambda x},$$

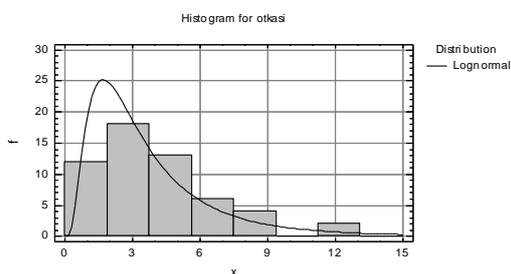
където λ е мащабен коефициент, а k е коефициент на формата на разпределението;

- при разпределение по Вейбул

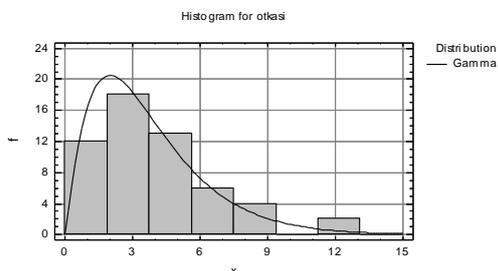
$$f(x) = a \cdot b^{-a} x^{b-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b}, x \geq 0,$$

където a е мащабен коефициент, а b е коефициент формата на разпределение.

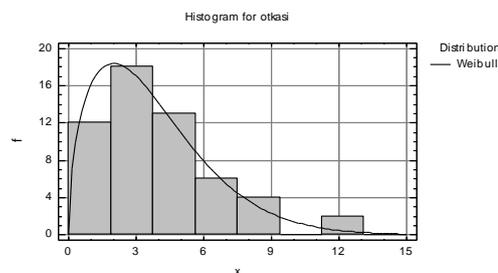
С получените стойности на параметрите на разпределение за трите закона са построени теоретичните функции на плътността на разпределение на случайната величина. Те са показани на следващите фиг. 2, 3 и 4.



Фиг.2. Апроксимация на отказите с логаритмичен нормален закон. Коефициентите на разпределението са: $\theta=1.06922$, $\sigma_1=0.733382$.



Фиг.3. Апроксимация на отказите с Гама разпределение. Коефициентите на разпределението са: $\lambda=0.56998$, $k=2.1349$



Фиг.4. Апроксимация на отказите с разпределение по Вейбул.

Коефициентите на разпределението са: $a=4.17497$,

$b=1.49516$

На фигурите са използвани означенията: x - брой откази за месец, f - честота на отказите.

Изводи

От получените резултати могат да се направят следните изводи:

1. Най – голям е броят на отказите в кабелните линии за 6 и 20 kV, 47% от общия брой. Това означава, че проблема е в кабелите и отделните елементи (кабелни муфи, разклонителни кутии, кабелни глави, подвижни превключвателни, пунктове и др.), които изграждат кабелната мрежа на рудника.

2. Голям е броят на отказите с неизвестни причини (една четвърт), което затруднява прецизният анализ на отказите в електроснабдителната система на подстанция „3-ти март“.

3. Определени са основните точкови оценки на статистическата извадка на отказите (Таблица 1 и Таблица 2).

5. Нито една от проверените хипотези за теоретичен закон на разпределение на случайната величина (откази на месец) не може да бъде отхвърлена. Гама разпределението е с най – добра оценка за теоретичен закон за разпределение. Получените оценки по критерия на Пирсън и Колмогоров са направени при оптимален брой класове в хистограмите осем (8).

6. Необходимо е да се обърне внимание на конструкцията на разклонителните кутии, кабелните муфи и глави, както и на състоянието на подвижните превключвателни пунктове.

Литература

Magnugistics Inc., Statgraphics, User Guide, 1996.

Бекерон П.Г. Методика сбора обработки статистической информации о надежности шахтного электрооборудования, И.Г.Д.,1975.

Препоръчана за публикуване от катедра „Електрификация на минното производство“, МЕМФ

СПЕКТРАЛЕН АНАЛИЗ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНО ИЗЛЪЧВАНЕ ОТ РАЗРЯДИ, ПОРОДЕНИ ОТ РАЗРЯДИ ОТ НАЕЛЕКТРИЗИРНИ ДИЕЛЕКТРИЦИ

Юлиан Заимов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, julianus@mail.bg

РЕЗЮМЕ. Направен е преглед на съществуващите начини за определяне на статична електризация при различни технологични процеси във взривоопасни производства. За целта се използват статиметри, които измерват електрически интензитет и на тази база се правят заключения за електрическите разряди.

В статията се предлага начин за индикация на електростатични разряди в потенциално експлозивна атмосфера, чрез анализ на електромагнитното поле, което може да бъде възприето като сигнал за съществуването им.

SPECTRAL ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION FROM ELECTRICAL DISCHARGES, POSED FROM ELECTRICAL DISCHARGES OF ELECTRIFIED DIELECTRICS

Youlian Zaimov

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

ABSTRACT. Was made a review of existing methods of determining the static electricity in various technological processes in explosives production. For this purpose apparatuses are used to measure electrical intensity and on that basis draw conclusions about the electrical discharges. The article provides a way to indicate electrostatic discharges in a potentially explosive atmosphere by analyzing the electromagnetic field that can be perceived as a signal of their existence.

Известно е, че всеки електрически разряд през диелектрик поражда излъчване на електромагнитни вълни. В [1] е предложено това обстоятелство да се използва за откриване на електрически разряди, възникнали поради натрупване на статични заряди върху диелектрични повърхности. Това може да се постигне чрез създаването на индикатор, който да открива и сигнализира за наличие на разряди в потенциално опасна експлозивна атмосфера.

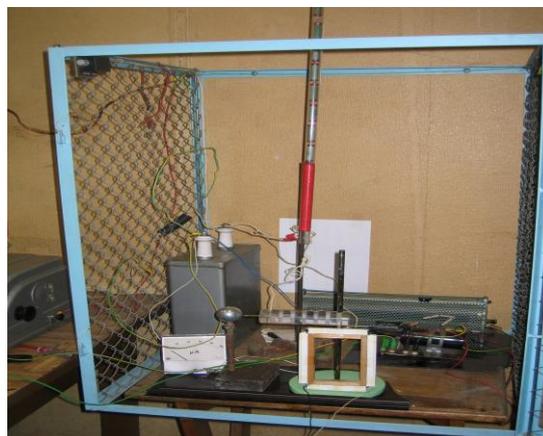
За сигурната работа на такъв индикатор е необходимо да се намерят:

1. Критерии, с необходимата достоверност, които позволяват да се разграничат електромагнитните сигнали от разрядите и от неизбежните външни смущения. Една възможност в това отношение е изследването на честотния спектър на електромагнитното излъчване, създадено при наличие на опасни електростатични разряди, които могат да възпламеняват взривоопасните смеси.

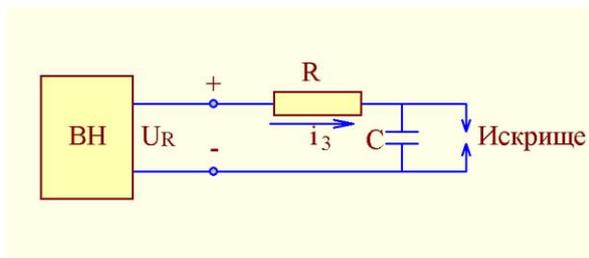
2. Евентуални зависимости между енергията W на разрядите и някоя характеристика на честотния спектър.

От няколко години насам в лаборатория „Екстехника“ при МГУ-НИС, акредитирана за изпитване на статична електризация в условията на потенциално опасна експлозивна атмосфера, се провеждат експериментални изследвания чрез записване на електромагнитните сигнали, излъчвани от изкуствено създадени разряди между проводими електроди с малки размери. За целта е конструиран изпитвателен стенд, показан на фиг. 1.

Напрежението между електродите се създава от външен източник ВН, съгласно схемата, показана на фиг. 2. Резисторът R има съпротивление от порядъка на мегаоми, което може да се регулира. Кондензаторът C представлява батерия от високоволтови кондензатори, с които чрез подходящо свързване може да се променя стойността на капацитета. Експериментите са проведени с комбинация от различни форми на електродите – сфери, остриета, острие - плоскост /диск/ и др.



Фиг. 1



Фиг. 2

Схемата работи по следния начин:

Кондензаторът С се зарежда от източника на ВН през резистора R с ток i_3 . Когато напрежението на кондензатора U_c достигне определена стойност започва да протича ток на утечка i_{yt} между електродите. Ако токът на зареждане

$$i_3 = \frac{U_c}{R} > i_{yt}, \text{ напрежението } U_c \text{ продължава да нараства}$$

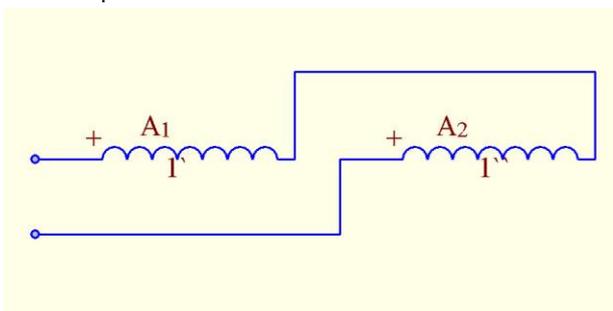
до достигане на стойността на пробивното напрежение U_{np} в искрището се осъществява разряд. След разряда кондензаторът остава зареден с някакво остатъчно напрежение, което може да бъде положително или отрицателно, но по абсолютна стойност е много по-малко от пробивното и може да се пренебрегне. Интервалът от време ΔT между разрядите може да се регулира чрез изменение на R съгласно формулата:

$$\Delta T = -RC \ln \left(1 - \frac{U_{np}}{U_c} \right)$$

Енергията на разряда се определя от формулата

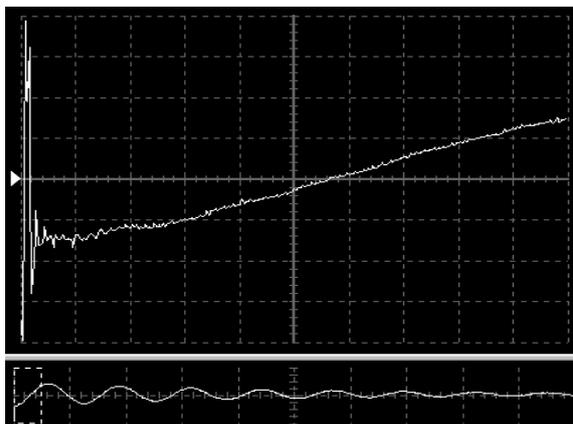
$$W = 0.5 C U_{np}^2$$

Излъчените електромагнитни вълни при всеки пробив се регистрират чрез системата, показана на фиг.3. Тук A_1 и A_2 са две еднакви рамкови антени, свързани диференциално, така че когато източникът е между тях сигналите да се сумират, а когато е в околното пространство – да се изваждат. Полученият от тях сигнал се записва на компютърен осцилоскоп.



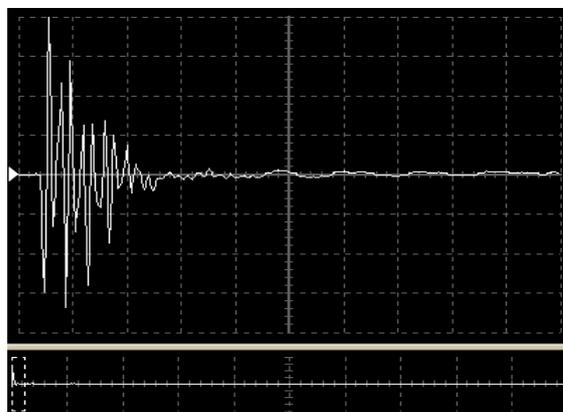
Фиг. 3

Изследвани са множество разряди с използване на различни видове електроди, като стойностите на параметрите R, C, U_c и U_{np} имат различни стойности. Големината на U_{np} се изменя при изменение на разстоянието между електродите. Типични записи на разрядите са показани на фиг.4, 5, 6 и 7.



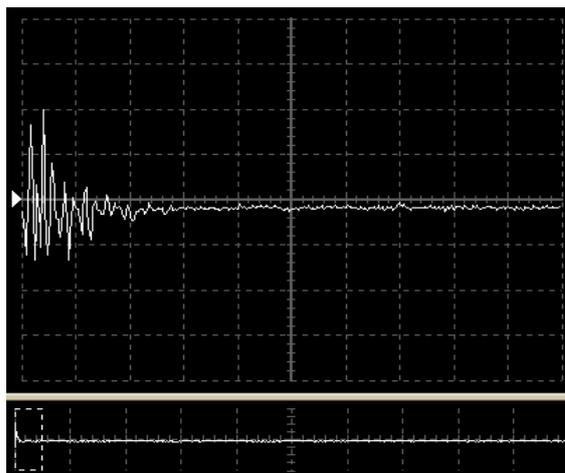
Фиг. 4

Мащаб – 1 деление е $10\mu s$



Фиг. 5

Мащаб – едно деление е $10 \mu s$



Фиг. 6

Мащаб – едно деление е $10 \mu s$

Изводи

Предлаганият индикатор трябва да реагира на електромагнитни сигнали в честотен обхват поне до 20 MHz. Той трябва да има чувствителност и по отношение на ниски честоти от порядъка на 100 kHz, които възникват именно при най-мощните разряди, а те са и най-опасни по отношение на възпламеняване на потенциално експлозивната атмосфера.

Препоръчана за публикуване от кат. „Електрификация на минното производство”, МЕМФ

Литература

- Козаров, А., Заимов, Ю. Дистанционно определяне на енергията на електростатичните заряди, годишник на МГУ – том 51, свитък III – 2008 г.
- Ландау, Л., Е.М.Лившиц, 1969. *Механика и електродинамика*, М., Наука
- Козаров, А, 2001. *Теоретична електротехника, ч.II*, С., ИК при МГУ
- Георгиев, М, и др., 1990. *Техника на високите напрежения*, С., Техника

АНТИСТАТИЧНИ И ИСКРОНЕОБРАЗУВАЩИ ПОДОВИ НАСТИЛКИ ЗА ПРОИЗВОДСТВЕНИ ПРОЦЕСИ В ПОТЕНЦИАЛНО ЕКСПЛОЗИВНА АТМОСФЕРА

Лъчезар Хрисчев¹, Юлиян Заимов², Костадин Заимов³

¹ Висше строително училище „Любен Каравелов“, София, E-mail: l_hrishev@abv.bg

² Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, ko@mail.bg

³ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, julianos@mail.bg

РЕЗЮМЕ. В настоящия доклад е направена класификация на съвременните антистатични и искронеобразуващи подови настилки. Систематизирани са основните изисквания произтичащи от действащите нормативни документи и съвременните световни тенденции. Обърнато е внимание както на изпитванията свързани с електропроводимост и искронеобразуване, така и на изпитванията по отношение на якостните и деформационните характеристики. Определени са препоръчителни области на приложение.

ANTISTATIC AND SPARK RESISTANT FLOORINGS FOR A PRODUCTION PROCESSES WITH POTENTIAL EXPLOSION ATMOSPHERE

Lachezar Hrishev¹, Julian Zaimov², Kostadin Zaimov³

¹ Higher School of Civil Engineering "Lyuben Karavelov", Sofia, Bulgaria

² University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, Bulgaria

ABSTRACT. In the present report was made a classification of modern and antistatic flooring without occurrence of sparks. Systematics was made of the basic requirements under existing regulations and current world trends. Attention is paid to both the tests related to conductivity and not form sparks and the tests in terms of strength and deformation characteristics. Application areas are determined.

Въведение

Възпламеняващата способност на електростатичните разряди, а също и фриксионните искри, образуващи се при изпълнение на технологични и ремонтни операции са най-голямата опасност за взривове и пожари в производства с потенциално експлозивна атмосфера.

Електростатичните искрови разряди предизвикват възпламеняване на горимите паро-въздушни или прахово-въздушни смеси посредством разсеяната енергия на разряда.

Фриксионните искри, представляващи частици от даден материал отделени при определено ударно въздействие или триене, за кратко време отделят голямо количество топлина, достатъчно за довеждане на потенциалната експлозивна атмосфера до температурата на възпламеняване.

Един от основните принципи за превенция за недопускане възпламеняването на взривоопасните експлоатационни среди е използването на антистатични и искронеобразуващи подови настилки.

Наличието на много съвременни продукти на Българския пазар и хармонизирането на редица европейски стандарти в областта на антистатичните настилки от една страна, и липсата на конкретни правила и инструкции за тяхната употреба и приложение дава основание да се извърши:

- 1.Класификация на съвремените подови настилки и покрития.
- 2.Систематизиране на основните характеристики и изисквания, на които същите следва да отговарят.
- 3.Определяне на препоръчителни области на приложение на съвременните антистатични и искронеобразуващи подови настилки.

1. Класификация на съвременните антистатични и искронеобразуващи подови настилки

1.1. Според вида на материалите за изпълнение на настилка:

- настилки на база циментови смеси;
- на на база цимент-полимерни смеси;
- настилки на база термореактивни полимери;
- настилки на база термопластични полимери;
- настилки на база синтетичен каучук.

1.2. Според конструктивния им вид:

- монолитни;
- настилки от отделни елементи (във вид на плочи или рула);

1.3. Според вида на искрите и превенцията от тях:

- антистатични настилки – настилки, които не позволяват появата на електростатични искрови разряди;

- искронеобразуващи – настилки, които не позволяват появата на фрикционни искри вследствие на триене или ударни въздействия върху пода.

1.4. В зависимост от електрическото им съпротивление:

- проводими – настилки с електрическо съпротивление от $10^4\Omega$ до $10^6\Omega$;
- антистатични – настилки с електрическо съпротивление от $10^6\Omega$ до $10^8\Omega$;
- непроводими – настилки с електрическо съпротивление над $10^8\Omega$.

2. Основни характеристики и изисквания към антистатичните и искронеобразуващи подови настилки.

За да се изяснят експлоатационните условия в производствените помещения с потенциално експлозивна атмосфера са необходими следните изходни данни:

- вид на технологичните процеси и възможностите за изменение на технологията;
- точно определяне на състава на потенциалните паровъздушни или праховъздушни експлозивни смеси;
- механични въздействия върху пода от хора, безрелсови транспортни средства и ударни въздействия;
- разположение и размери на проходите в помещението, и местата за складиране с указания за полезното натоварване;
- химичен състав, концентрация и температура на технологичните разтвори, а също и състав на разтворите използвани при почистването на пода, и температура на почистване;
- количество на разтворите, които се разливат върху пода.

Вземайки се предвид изходните данни, следва да бъдат конкретизирани основните характеристики и изискванията, на които настилки трябва да отговарят и притежават:

- степен на електрическо съпротивление;
- искронеобразуване;
- якост на натиск;
- якост на опън при огъване;
- изтриваемост и абразивна износоустойчивост;
- устойчивост на ударни въздействия;
- устойчивост на температурни въздействия, в т.ч. и рязка промяна на температурата;
- химическа устойчивост;
- непроницаемост за течности;
- противохлъзгавост;
- горимост;
- време за въвеждане на пода в експлоатация;
- възможност за лесно почистване и обслужване.

3. Методи за изпитване на антистатичните и искронеобразуващи подови настилки

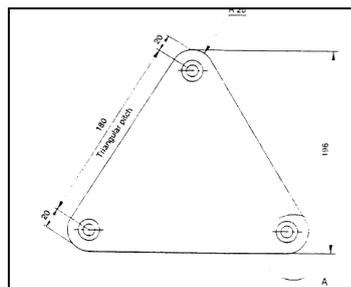
3.1. Определяне на електрическото съпротивление

3.1.1. Определяне на електрическото съпротивление съгласно БДС EN 1081

Определянето на електрическото съпротивление на подовите съгласно изискванията на БДС EN 1081 се извършва посредством триподни електроди (фиг.1),(фиг.2) и уред за измерване на електрическото съпротивление с точност +/- 5% в диапазона от $10^5\Omega$ до $10^{10}\Omega$ и с точност +/-10% в диапазона над $10^{10}\Omega$. При определяне на електрическо съпротивление със стойности до $10^6\Omega$ следва да се използва напрежение 100V, а за стойности над $10^6\Omega$ – 500V. При измерването, върху триподните образци се упражнява натоварване от минимум 300 N.

По този метод се определят:

- вертикално електрическо съпротивление R1;
- съпротивление на заземяване R2 – електрическото съпротивление измерено между натоварен триподен електрод поставен върху повърхността на настилка и заземяването;
- повърхностно съпротивление R3 – съпротивлението измерено между два триподни електрода и поставени на разстояние 100 mm един от друг.



Фиг. 1. Триподен електрод за измерване на електрическото съпротивление съгласно БДС EN 1081



Фиг. 2. Измерване на електрическото съпротивление съгласно БДС EN 1081

3.1.2. Определяне на електрическото съпротивление съгласно БДС 6728-82 и (Правила за защита от статическото електричество. 1973)

За определяне на електростатичните свойства на подовата настилка се измерва електрическото съпротивление между повърхността на настилка и изводите на заземяването. За целта се използва алуминиев електрод с диаметър 80mm и дебелина 20mm. През време на измерването електродът се притиска към подовата настилка посредством тяло с маса 100N.

3.1.3. Други методи за определяне на електрическото съпротивление на подовите настилки

Хармонизирането на редица европейски норми доведе до навлизането и у нас на все по-нови стандарти в областта на измерването на електрическото съпротивление на подовите настилки. Други подобни методи за изпитване са регламентирани в:

- БДС EN 61340-4-1 „Електростатика. Част 4-1: Стандартни методи за изпитване на специфични приложения. Електрическо съпротивление на подови настилки и на инсталирани подове (IEC 61340-4-1:2003);

- БДС EN 61340-4-5 „Електростатика. Част 4-5: Стандартни методи за изпитване на специфични приложения. Методи за характеризирани на електростатичната защита на чорапи и обувки и настилки, в комбинация с човек (IEC 61340-4-5:2004);

- БДС EN 61340-5-1 „Електростатика. Част 5-1: Защита на електронни устройства срещу явлението електростатика. Общи изисквания (IEC 61340-5-1:2007).

Стандартите от серията БДС EN 61340 по същество представляват действащата от 1990г. „Международна спецификация IEC 61340“, чиято основна цел е да регламентира нормите и основните положения по отношение на статичното електричество в предприятията на електронната промишленост и електронната индустрия.

3.2. Методи за изпитване за искронеобразуване на подовите настилки

Характерно за изпитванията за искронеобразуване, е че към момента няма действащи български или хармонизирани европейски стандарти за такъв тип изпитвания. Методите за изпитване, които се използват в практиката се базират на упражняване на механично триене или ударно въздействие върху изпитваната настилка с цел отделяне на частици от нея, които биха се явили фриktionни искри.

Съгласно указанията на UFGS-099723 (*UNIFIED FACILITIES GUIDE SPECIFICATIONS, 2008*), а също и според „Указания за изпитване на искрене на добавъчни материали и строителни разтвори“ – Издателство на комитета по химия – 1968г., механичното въздействие върху подовата настилка се извършва в тъмно помещение, като се следи визуално за появата на фриktionни искри.

По-реалистично и близко до експлоатационните условия е изпитването, което се извършва в затворена камера, пълна с потенциално възпламеним газ, като върху изпитвания елемент се упражнява многократно ударно въздействие с определена енергия на удара или триене от стоманен въртящ се диск (*Кравченко, 1976*). Настилката се счита за искронеобразуваща, ако вследствие на определен брой удари със съответната енергия не се получи възпламеняване на намиращата се в камерата взривоопасна смес.

3.3. Методи за изпитване на якостните и механични характеристики и химическа резистентност на антистатичните и искронеобразуващите подови настилки

Освен електростатичните и искронеобразуващи свойства на подовите настилки, за дълготрайността и експлоатационната годност съществено значение имат и други характеристики – якостни и механични характеристики, химическа устойчивост, температурна устойчивост и др. Хармонизирането на редица европейски

норми доведе до навлизането на съвременни стандарти за изпитване на подови настилки.

Основните характеристики имащи отношение към дълготрайността на подовите настилки са следните:

- якост на натиск – изпитването се извършва съгласно БДС EN 13892-2:2003 – „Методи за изпитване на подови замазки. Част 2: Определяне на якост на огъване и на натиск“;

- якост на огъване - изпитването се извършва съгласно БДС EN 13892-2:2003 – „Методи за изпитване на подови замазки. Част 2: Определяне на якост на огъване и на натиск“;

- абразивна износоустойчивост - изпитването се извършва съгласно БДС EN 13892-3:2003 – Методи за изпитване на подови замазки. Част 3: Определяне на устойчивост на износване – Bohme;

- повърхностна твърдост - изпитването се извършва съгласно БДС EN 13892-6:2003 – Методи за изпитване на подови замазки. Методи за изпитване на подови замазки. Част 6: Определяне на повърхностна твърдост;

- адхезия на настилката към долулежащата основа - изпитването се извършва съгласно БДС EN 13892-6:2003 – Методи за изпитване на подови замазки. Методи за изпитване на подови замазки. Част 8: Определяне на якост на сцепление;

- противохлъзгавост на настилката – има значение за помещения с мокри производствени процеси - изпитването се извършва съгласно БДС EN 13036– Метод за изпитване с махало;

- химическа устойчивост – изпитванията се извършват съгласно БДС EN 13529 и ISO 2812-1.

4. Препоръчителни области на приложение на антистатичните и искронеобразуващи подови настилки

След като са определени основните изисквания към подовите настилки (съгл.т.1) може да се пристъпи към избор на даден тип или типове настилки отговарящи на поставените условия. При избора на типа настилка следва детайлно да се проучат както експлоатационните условия на работната среда, така и електростатичните и искронеобразуващи свойства, якостните, механични и деформационни характеристики на възможните за влагане покрития.

В табл.1 са посочени някои препоръчителни области на приложение на най-често използваните в практиката антистатични и искронеобразуващи подови настилки.

Лаборатория “ Екстехника “ има дългогодишен опит в изпитванията и изследванията на различни видове покрития за работни места и подови настилки, където е възможно натрупването на електростатични заряди със сравнително високи енергии. Има опит и при разследване на станали експлозии при необичайни случаи. Пример за това е експлозията при смилане на пчелен восък, където загинаха 6 души. За получаването на прах от пчелен восък е използвана технология, която изисква дълбоко замразяване на восъка и смилане. В смес с въздуха праха образува взривоопасна смес с ниска енергия на възпламеняване. Тук са действали два фактора за възпламеняване на сместа – електростатични разряди и единични удари .

Таблица 1

Производство	Тип на помещението с потенциално експлозивна атмосфера						Производствени процеси с повишени изисквания за химическа устойчивост
	Производствени процеси с леко до средно механично натоварване и без ударни въздействия в/у пода	Производствени процеси с тежко механично натоварване и без ударни въздействия в/у пода	Производствени процеси с леко механично натоварване и ударни въздействия в/у пода	Производствени процеси със средно механично натоварване и ударни въздействия в/у пода	Производствени процеси с тежко механично натоварване и ударни въздействия в/у пода	Производствени процеси с повишени хигиенни изисквания	
тип настилка							
1 Антистатична и искро-необразуваща настилка на база циментни и цимент-полимерни смеси	++	+	++	+	+	-	-
2 Антистатична бетонова настилка със сух повърхностен втвърдител (топинг) на база метални агрегати и ламели	++	++	-	-	-	-	-
3 Антистатична и искро-необразуваща настилка на база полимерни смоли	++	++	++	++	++	++	++
4 Антистатична настилка на база термопластични полимери във вид на плочи или рула	++	-	+	-	-	+	+
5 Антистатична настилка на база синтетичен каучук	+	-	+	-	-	+	-

Легенда:

- ++ настилка е препоръчително да се използва за производственото помещение
- + настилка може да се използва за производственото помещение
- настилка не е препоръчително да се използва за производственото помещение

Изследвани са различни видове еднослойни покрития и подови настилки произведени в Германия, Чехия и др. страни. Освен електрическата проводимост, важен критерий е времето на релаксация τ , което зависи от подвижните и неподвижни машини и съоръжения, движението на хора и др. Най-общо се приема, че статичната електричество не създава опасност от пожари и експлозии, ако времето на релаксация е по-малко от 10^{-3} s.

На базата на съвместната работа на лаборатория "Екстехника" и фирмата ЕТ "Евгений Русев" са разработени два типа подови настилки – НИЛ-ЕК - 1 и НПА - 1. В продължение на няколко години те се прилагат успешно в предприятия на химическата и фармацевтична промишленост, газостанции и на други места.

Независимо от прилаганите действия за безопасност от статично електричество, основен критерий за вредното им действие е възпламеняващата им способност, която зависи от разсеяната енергия в разряда.

Изводи

1. Познаването на основните характеристики на съвременните антистатични и искронеобразуващи подови настилки и покрития е задължително условие за свеждане до минимум на производствените аварии вследствие възпламеняване на потенциално експлозивна експлоатационна среда.

2. Наличието на няколко едновременно действащи стандарта за изпитване на електрическото съпротивление дава

основание същите да бъдат детайлно разгледани и разяснени.

3. Определените препоръчителни области на приложение на различните типове антистатични и искронеобразуващи подови настилки дават възможност за по-добро ориентиране при избора на подова настилка и могат да се използват както от изпълнители, така също и от инвеститори и проектанți при разработването на инвестиционните проекти, в частта им касаеща подовите настилки и покрития.

Литература

- Анев, Г., М.Г. Вълчев, В.А. Дядова, К.П. Заимов и др. 1987. *Вредни действия на електричеството и защита от тях*. С., Техника, БДС 15969 *Статично електричество. Общи изисквания за защита*.
- Кравченко, В., В.А. Бондаря, В 1976. *Взрывобезопасность электрических разрядов и фрикционных искр*. М., Недра, Министра химической промышленности. 1973. *Правила защиты от статического электричества*, М., Химия.
- RILEM TC 184. 2006. *Rilem Report 33 – Industrial floors*, Rilem publication.
- UFGS 099723. 2008. *UNIFIED FACILITIES GUIDE SPECIFICATIONS - METALLIC TYPE CONDUCTIVE/SPARK RESISTANT CONCRETE FLOOR FINISH*. NASA

Препоръчана за публикуване от кат. „Електрификация на минното производство”, МЕМФ

ПАРАМЕТРИ НА ЗАЗЕМИТЕЛНИЯ КОНТУР ЗА ПОДВИЖНИ МИННИ МАШИНИ В ИТ СИСТЕМИ СЪДЪРЖАЩИ ВИСШИ ХАРМОНИЦИ В НАПРЕЖЕНИЕТО

Милен Дренков

CMC-C EOOD, 2070 Пирдон; e-mail: cmcc.office@gmail.com

РЕЗЮМЕ. Докладът представлява развитие на изследвания за оптимизиране на съпротивлението на заземяване на подвижни минни машини, които се захранват от системи с изолирана неутрала (ИТ) и които съдържат висши хармоници в напрежението.

Този проблем придоби актуалност при нарастващото приложение и в мините на мощни изправители за постояннотокови задвижвания, на честотното управление на асинхронните двигатели и на нелинейни товари, които са източници на висши хармоници в тока и напрежението.

Получени са параметри на заземителния контур по ограничителните критерии в Европейските норми за коефициентите на несинусоидалност в мрежите НН. Разгледан е пример без дискриминиране на висшите хармоници с филтри.

PARAMETERS OF GROUNDING CIRCUIT OF MOBILE MINING MACHINES IN IT SYSTEMS CONTAINING HIGHER HARMONICS IN VOLTAGE

Milen Drenkov

CMC-C Ltd., 2070 Pirdop, e-mail: cmcc.office@gmail.com

ABSTRACT. Paper presents development of studies for optimizing the grounding resistance of mobile mining machines, supplied by systems with insulated neutral (IT) and containing higher harmonics in voltage.

This problem became topical with the increasing application in mines of powerful rectifiers for direct current drives, of frequency control of asynchronous motors and of non-linear loads, which are sources of higher harmonics in current and voltage.

Parameters of grounding circuit obtained related to limitation criteria from European norms for coefficients on non-sine in LV networks. An example without discrimination of higher harmonics by filters is examined.

Предпоставки за изследването

Изследванията (Ментешев, 1986) доказват по категоричен начин, че в ИТ системи при наличие на висши хармоници в напрежението, независимо от техния произход и посока на проникване, токът на утечка се увеличава. Това ще рефлектира върху нарастването на напрежението „корпус-земя”. За ограничаване на допирното напрежение се налага и съответна корекция в стойността на допустимото максимално съпротивление на заземителния контур (PE), което трябва да гарантира необходимата безопасност при индиректен допир.

Анализите за определяне на параметрите на заземителния контур за подвижните минни машини с НН, и съдържащи висши хармоници са извършени при същите предпоставки възприети при изчисленията за мрежи със синусоидално напрежение (Ментешев и др. 2007, Дренков, 2007)

- Системата е с изолирана неутрала (ИТ) с напрежение до 1200 V AC;
- Анализират се безопасни допирни напрежения: 50V (IEC 60364) ; 42V (Правилници за ТБ в мините, 1981); 25V и 12V (НУЕУЕЛ, 2004);
- Съпротивлението на човешкото тяло е възприето: $R_H=600\Omega$;

- Активната проводимост на изолацията е съсредоточена
- Капацитивна проводимост на изолацията е съсредоточена и симетрична за отделните фази спрямо земя;
- Влиянието на съпротивлението на естественото заземяване на машините се отчита в анализите, но се елиминира при определяне на граничните (критични) стойности на заземителния контур;
- Граничната безопасна продължителна стойност на тока през човека е 25mA AC.

Токове на утечка при висши хармоници в напрежението

За критерий при оценката за нарастването на тока на утечка се приемат ограничителните параметри за амплитудно-честотния спектър на хармониците, регламентирани в директива на IEC и европейските норми EN 50160.H94 (Таблица 1).

Направени са изчисления при най-тежкия случай – наличност на всички хармоници, които генерират симетрични съставки с права и обратна последователност. Европейските норми, посочени в Таблица 1., са сравнително най-либерални, както спрямо

регламентираните в страни като Русия, Австралия и Китай, така и спрямо националните норми в отделни страни на ЕС, като Финландия, Великобритания и др., които са по-рестриктивни. Коефициентът на несинусоидалност е изчислен само за хармониците с кратности на честотата 2, 4, 5, 7, 11, по данни в Таблица 1. Хармониците, кратни на три образуват система с нулева последователност. Те са изключени, тъй като в мините се използват задължително само системи с изолирана неутрала (IT) и тези токове не протичат.

$$K_{HU} = \sqrt{\sum_{k=2}^{11} K_{Uk,\%}^2} = \sqrt{2^2 + 1^2 + 6^2 + 5^2 + 3.5^2} = 8.86\% \quad (1)$$

Граничния коефициент на несинусоидалност при честотно управление на асинхронните двигатели е изчислен при отсъствие на хармониците, кратни на 2 и 4 и той е 8,57%.

Таблица 1

Висши хармоници, кратност на f=50Hz и честота, Hz		Ограничение на K _{uk} , % за мрежи НН до 1кV			
Кратност	f, Hz	по EN 5160. H94	Русия	Австралия	Китай
2	100	2	6	4	4
3	150	5	3	2	2
4	200	1,0	6	4	4
5	250	6,0	3	2	2
7	350	5,0	3	2	2
9	450	1,5	3	2	2
11	550	3,5	3	2	2

Резултатите от изчисленията са дадени в таблица 2, в която са посочени кратностите на пълния ток на утечка, с хармонични съставки, спрямо тока на утечка изчислен при синусоидално напрежение. Изчисленията са направени за ограничените по EN 5160.H94 коефициенти на несинусоидалност 8,57% и 8,86%. Примерно изчисление е направено за коефициент на несинусоидалност K_{HU}=20.5% определен при експериментални изследвания за спектъра на хармоници за постояннотоково задвижване на руднична подъемна уредба 315kW, с ниско напрежение, с тиристорен изправител, без ограничаващи филтри за дискриминиране на хармониците (Ментешев, 1986,1996).

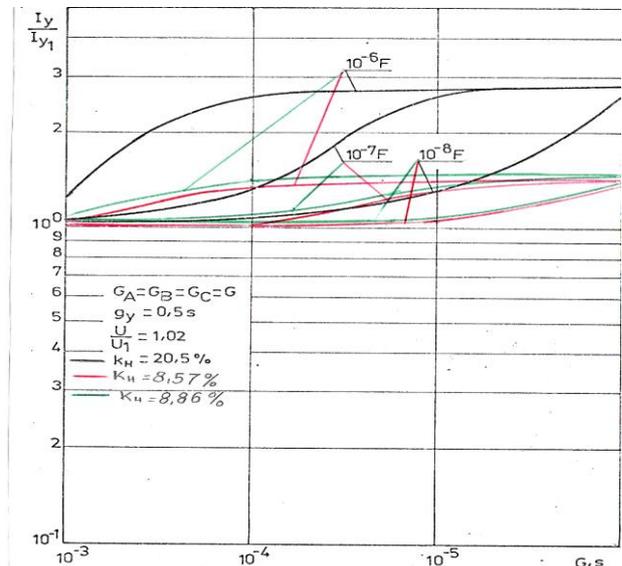
По данни от многогодишни изследвания за рудничните мрежи до 1000V в България (Данков,1991) най-вероятните стойности за активната проводимост g=10⁻⁴s (r=10⁴ Ω) и на капацитет 1.10⁻⁶ μF / фаза. При ограничаване на хармониците до нормираните стойности, токът на утечка I_y ще нараства до 1,34 пъти, а при отсъствие на филтри може да достигне до 2,6 пъти по-голям спрямо тока на утечка I₁ лимитиран от синусоидално напрежение.

Таблица 2

K _{HU}	G,s				
	C,μF	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶
8,57	10 ⁻⁶	1,11	1,34	1,36	1,37
	10 ⁻⁷	1,06	1,15	1,25	1,36
	10 ⁻⁸	1,05	1,14	1,16	1,30
8,86	10 ⁻⁶	1,18	1,40	1,48	1,51
	10 ⁻⁷	1,21	1,25	1,36	1,48
	10 ⁻⁸	1,21	1,20	1,21	1,35
20,5	10 ⁻⁶	1,30	2,60	2,83	2,90
	10 ⁻⁷	1,08	1,40	2,75	2,85
	10 ⁻⁸	1,07	1,12	1,43	2,86

Данните от изчисленията са отразени частично в таблица 2 и са получени графичните зависимости показани на фиг.1.

Ако се допусне, че всички съвременни изправители и инвертори притежават филтри и ще бъдат спазени нормите на IEC, то в такъв случай токът на утечка, респективно допирното напрежение, ще нараснат от 10 до 40%. С приблизително толкова ще трябва да се намали допустимото съпротивление на защитния заземителен контур.

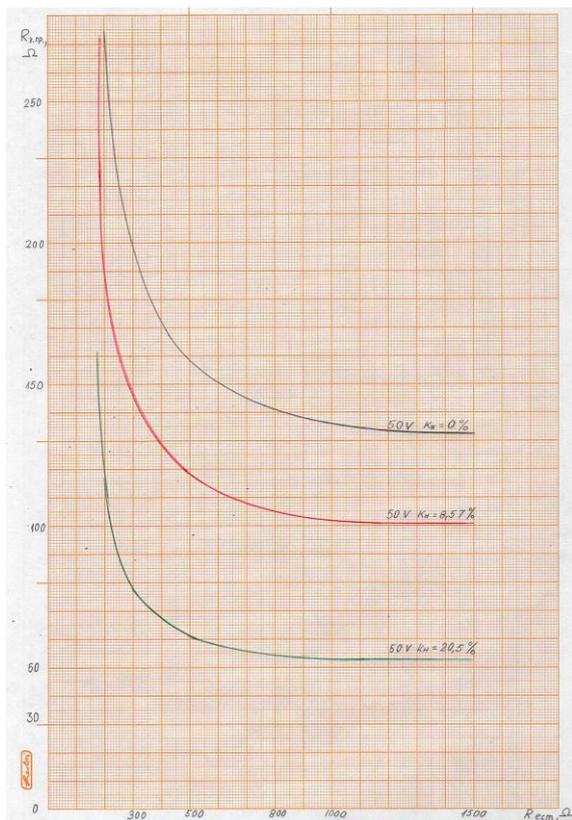


Фиг.1

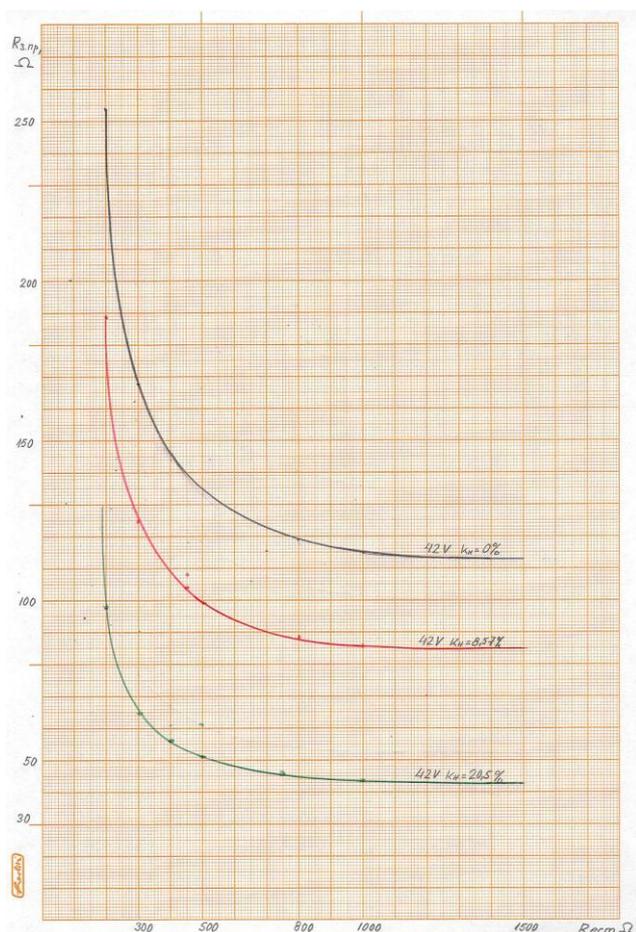
На базата на изчисленията, за IT мрежи с напрежение 380V са построени криви лимитиращи съпротивлението на заземителния контур при синусоидално напрежение (K_{HU}=0) и при напрежение, съдържащо хармоници, максимално ограничени до K_{HU}=8,57% и без филтрация с K_H=20,5 (примерно), като функцията на естественото съпротивление на заземяване на машината.

Ограничителните криви за съпротивлението на заземителния контур са построени за възприетите

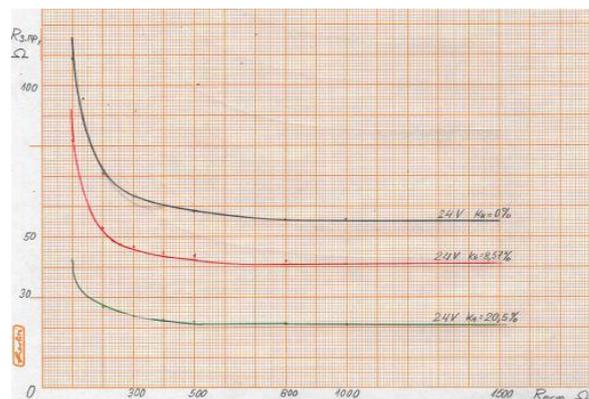
напряжения при индиректен допир: 50V (фиг.2); 42V (фиг.3); 24V (фиг.4) и 12V (фиг.5).



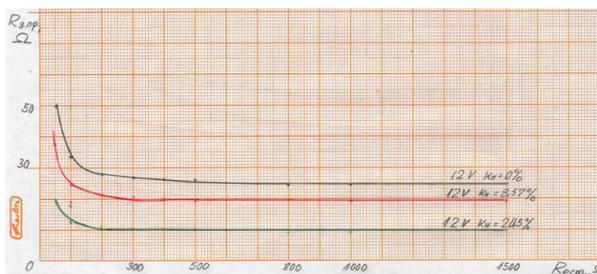
Фиг.2



Фиг.3



Фиг.4



Фиг.5

На таблица 3 са дадени изчислените максимално допустими стойности на заземяване на подвижните машини за използваните в България напряжения, без и с хармонични съставки, при възприети допустими допирни напряжения : 50V; 42V; 24V и 12V, като е игнорирано естественото заземяване на машината.

Приемайки априорно, че заземителната мрежа има съпротивление $\leq 2\Omega$, т.е. отговаря на изискванията в действащите у нас Правилници за техническа безопасност, максимално допустимата стойност на съпротивлението само на защитния проводник в кабела се получава като числата в Таблица 3 се намалят с числото 2.

Таблица 3

Напряжение на мрежата AC, V	Възприето безопасно допирно напряжение, при коэффициент на несинусоидалност K_{HI} , %					
	50V			42V		
	0	8,57	20,5	0	8,57	20,5
220	193	144	74	164	122	63
380	135	101	52	115	86	44
660	67,5	50	26	103	77	40
1000	44	33	17	69	51	26
1140	38	28	15	59	44	23

Напряжение на мрежата AC, V	Възприето безопасно допирно напряжение, при коэффициент на несинусоидалност K_{HI} , %					
	24V			12V		
	0	8,57	20,5	0	8,57	20,5
220	78	58	30	36	27	13,8
380	55	41	21	25	19	10
660	48	36	18	12	9	5
1000	42	31	16	8	6	3
1140	37	28	14	6,8	5	3

За най- често срещаното у нас напряжение на рудничните IT мрежи 380V, максимално допустимата стойност за съпротивлението на заземителния контур, на която трябва да се настройат устройствата, които

задължително го контролират в подвижните машини, не трябва да надхвърля посочените в таблица 4

Таблица 4

Степен на замърсеност на мрежата	При възприета безопасна стойност на напрежението, при индиректен допир, V			
	50	42	24	12
Без хармоници, Ω	135	115	55	25
С хармоници ограничени по EN516.H94, Ω	101	86	41	19

Интересно е тези данни да се сравняват с лимитираните в БДС 11623-83 гранични стойности на заземителния контур на подвижните минни машини: 100 Ω за напрежения до 1000V и 50 Ω за напрежения 1000 и 1140V. Те гарантират безопасна стойност на напрежението при индиректен допир до 50V , при наличие на висши хармоници.

Това напрежение в условията на мините не би трябвало да се счита за безопасно, тъй като при съпротивление на човека $R_h=600 \Omega$, токът, който би протекъл през него е 83mA.

В подкрепа на това , че токът е с рискова стойност и не гарантира необходимата степен на безопасност ще приведем следният пример. В масово прилаганите TN системи (TN-C и TN-S) в промишлеността и бита, апаратите за защита от утечки, които гарантират безопасност и при директен допир, най-големите допустими стойности на тока на задействане са $\Delta I = 25 \div 30mA$ (НУЕУЕЛ, 2004), а има защити с чувствителност $\Delta I = 5 \div 15mA$, които са съобразени със съвременните схващания за безопасни стойности на променливия ток, свързани с големината на отпускащия ток.

В резултат на изследването се налагат следните изводи:

1. Препоръчаните в Нормите максимални стойности за съпротивлението на заземителния контур за подвижните минни машини гарантират напрежение при индиректен допир около 50V, за мрежи с висши

хармоници, което е сравнително високо и рисково и трябва да се ограничи за условията в мините примерно до 18V.

2. Нормите за съпротивлението на заземителния контур на подвижните машини трябва да се регламентират селективно, в зависимост от напрежението в мрежата и от степента на замърсяването ѝ с висши хармоници.
3. Устройствата, които се използват за контрол на заземителния проводник в кабела, захранващ подвижните машини, трябва да се унифицират като се конструират с възможност за въвеждане настройки в зависимост от големината на напрежението на мрежата и степента на замърсеност с висши хармоници.

Литература

Данков, Е. 19991. Електроснабдяване на минните предприятия. С., Техника.

Дренков М., 2007. Относно защитното заземяване на подвижни машини в IT системи, Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски”, т.5, св.III Механизация, електрификация и автоматизация на мините, С.

Дренков М., 2008. Експериментално определяне на съпротивлението на естествено заземяване на електрически сонди в Рудник „Елаците”, Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски”, т.51, св.III Механизация, електрификация и автоматизация на мините, С.

Menteshev, M.1996. Safety in Mine Electric Circuits with Higher Harmonics in the Voltage, DEVA, 7-9.05.

Ментешев М., Ст. Чобанов, М. Дренков, 2007. Защитно заземяване на подвижните минни машини, С. Минно дело и геология, №6.

Ментешев, М. С., 1986. Безопасно прилагане на електрическата енергия в рудничните мрежи за Ниско напрежение. ДИС за пол. н.ст. доктор на техн. науки. ВМГИ. С.

Наредба №3 за устройството на електрическите уредби и електропреносни линии. 2004. С., ABC Техника.

Правилник за безопасността на труда при разработване на въглищни находища. 1982. С. Техника,

Правилник по безопасност на труда при разработване на рудни и нерудни находища по подземен начин., С. Техника.

IEC 60364-4-41

БДС 11 623-83

Препоръчана за публикуване от Редакционен съвет

ФИЗИЧЕСКО МОДЕЛИРАНЕ И СТАТИСТИЧЕСКИ АНАЛИЗ НА ЕКСПЛОАТАЦИОННИТЕ ПАРАМЕТРИ НА ЗАЗЕМТЕЛИ С ПРОВОДИМА БЕТОННА ОБМАЗКА ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ В МИННАТА ИНДУСТРИЯ

Георги Велев

Технически университет - Габрово, 5300 Габрово, E-mail: g_velev@tugab.bg; g.velev@gmail.com

РЕЗЮМЕ. Представеният доклад дава яснота относно целесъобразността от използването на проводими бетони за обмазване на вертикалните и хоризонтални заземителни електроди, участващи като съставни в заземителните инсталации за приложение в условията на откритите рудници в нашата страна с цел намаляване съпротивлението на заземяване и защита на електрод от корозия. На базата на физическо моделиране на заземители с проводима бетонна обмазка, статистическа информация получена чрез полеви измервания на техните експлоатационни параметри и последващата обработка на резултатите са направени изводи относно приложимостта и икономическия ефект, който предлаганите заземители ще имат при тяхното прилагане в практиката.

PHYSICAL MODELING AND STATISTIC ANALYSIS REGARDING THE OPERATING PARAMETERS OF CONDUCTIVE CONCRETE ENCASED GROUNDING ELECTRODES FOR APPLICATION IN MINING INDUSTRY

Georgi Velev

Technical University of Gabrovo, 5300 Gabrovo, e-mail: g_velev@tugab.bg; g.velev@gmail.com

ABSTRACT. The paper presented in here clarifies the advisability regarding the use of conductive concretes for encasing vertical and horizontal grounding electrodes as components of grounding installations for application in open air mines' environment in our country aiming at grounding resistance decrease and increasing electrodes' corrosion protection. Relevant conclusions are made on the basis of conductive concrete encased grounding electrodes' physical modeling in real conditions; statistic data obtained by operating parameters site measurements and its consecutive post processing regarding the applicability and economic effect that these proposed grounding electrodes would have if applied in industry.

Въведение

Проблемът с ефективността и надеждността на заземителните инсталации в условията на откритите рудници е основно в две направления:

- **при рудници с ниско специфично обемно съпротивление на почвата, повишена корозионна активност и електрифициран железопътен транспорт** заземителните електроди и металната подземна инфраструктура са подложени на интензивна електрокорозия в следствие на протичане на блуждаещи токове с много голям интензитет в почвата. В резултат експлоатационния период на заземителите рязко намалява и освен това при тяхното постепенно унищожаване съпротивлението на заземителната инсталация постепенно нараства и представлява риск от поява на опасни допирни и крачни напрежения, както в нормален работен така и при аварийен режим. Комплексът „Марица Изток“ и неговите открити рудници за въгледобив са типичен пример със своите около 340 км. електрифициран железопътен транспорт и изключително ниски стойности на специфичното съпротивление на почвата, в някои зони в границите 12–20 $\Omega \cdot m$ (Данев, 1974).
- **при открити рудници с високо специфично обемно съпротивление на почвата** основен проблем е трудното постигане нормените стойности на

съпротивлението на заземяване, неговото голямо колебание през годината в следствие изменение на годишните сезони и конкретно концентрацията на влага в почвения слой, както и неоправдано големите разходи в следствие преразхода на метал при изграждането и поддръжката на заземителните инсталации. Минно-обогатителният комплекс „Асарел-Медет“ АД, гр. Панагюрище е представител на този тип рудници.

Разработваните в период на 3 години заземители с проводима бетонна обмазка биха могли да решат ефективно горепосочените проблеми. В първия случай са извършени редица изследвания за корозионна защита на електрода положен в еднослойна и двуслойна проводима бетонна обмазка като резултатите са публикувани съгласно (Петров и Велев, 2007). Като извод е заключено, че експлоатационния период на заземителите се увеличава с повече от 3 пъти ако те се обмазват с два слоя проводима бетонна обмазка с различна проводимост и състав.

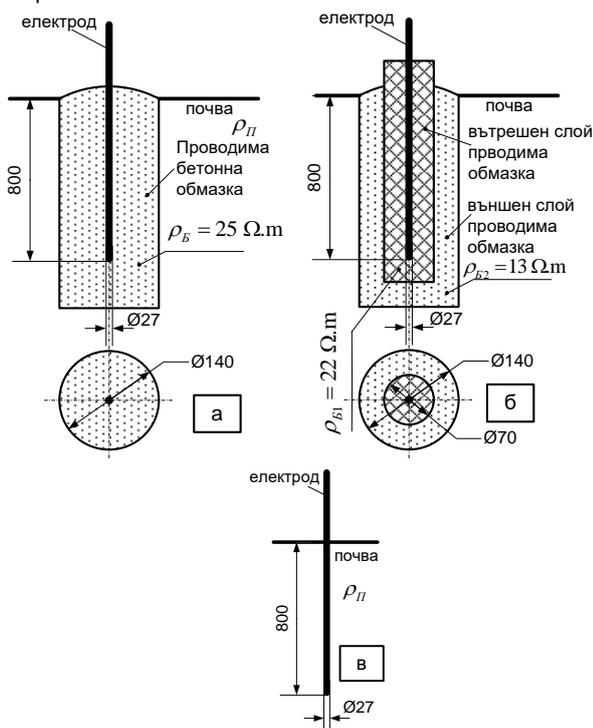
Във вторият случай се цели намаляване съпротивлението на единичните заземители участващи в заземителните контури с цел икономия на метал и намаляване на капиталовложенията за изграждане.

Подобни изследвания са правени и чрез смесване на цимент, гранулирана шлага от стоманодобивната

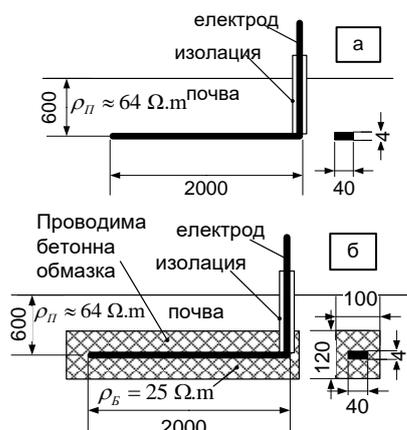
промишленост и сол (Chen et al., 2004) или чрез комбинация от цимент и различни видове проводяща пръст (Sancosha Corporation, 2000; D'Alessandro et al., 2004).

1. Описание на физическите модели на предлаганите заземители

За оценка степента на редукция на съпротивлението на заземяване е извършено физическо моделиране в реални условия и размери на вертикални и хоризонтални стоманени заземители с и без обматка в района на ТУ-Габрово.



Фиг. 1.1. Скици на вертикалните електроди на територията на ТУ Габрово; а) вертикален заземител с еднослойна проводима обматка; б) вертикален заземител с двуслойна проводима обматка; в) конвенционален вертикален заземител без обматка.



Фиг. 1.2. Скици на хоризонтални заземители, монтирани на територията на ТУ Габрово; а) конвенционален хоризонтален лентов заземител без обматка; б) хоризонтален заземител с еднослойна обматка.

Геометричните размери на различните образци вертикални и съответно хоризонтални заземители са подбрани еднакви за да има сравнимост на резултатите от

последващите измервания. На фиг. 1.1 са представени скици на вертикалните заземители, положени в района на ТУ-Габрово, а на фиг. 1.2 на хоризонталните.

Проводимият бетон при еднослойно-обмазаните заземители от фиг. 1.1а и фиг. 1.2б е изготвен с обемно отношение на съставките графит, пясък, цимент – 1/3Г+1/2Ц+1/6П (Петров и Велев, 2007).

Вътрешният слой на двуслойно-обмазания вертикален заземител от фиг. 1.1б е със състав 1/2Г+1/2Ц(без пясък), а външният слой 1/2Г+1/3Ц+1/6П (Петров и Велев, 2007).

2. Статистическа информация получена от ежемесечни измервания съпротивлението на заземление за разглежданите заземители

За оценка ролята на проводимата обматка относно намаляване съпротивлението на заземление е нужно да се разполага със статистическа информация относно изменението на въпросния параметър през годината, като честотата на измерванията да не е по-голяма от един месец. За разглежданите експериментални електроди са извършвани периодично такива измервания като резултатите от тях са представени в табл. 2.1 за вертикалните заземители и табл. 2.2 за хоризонталните.

Процентната редукция на съпротивлението на заземяване при използване на проводими обматки за различните образци заземители е изчислена съгласно следната зависимост в общ вид:

$$R_{ij}\% = \frac{R_i - R_{ij}}{R_i} \cdot 100, \% \quad (1)$$

$R_{ij}\%$ - редукция на съпротивлението в проценти за съответния заземител с проводима бетонна обматка, %;
 R_{ij} - измерено съпротивление на заземяване за съответния заземител с проводима бетонна обматка, Ω;
 Таблица 2.1

R_i - измерено съпротивление на заземление за заземител със същата конфигурация но без обматка, Ω;

Таблица 2.1

Резултати от измерванията за вертикалните заземители по дати

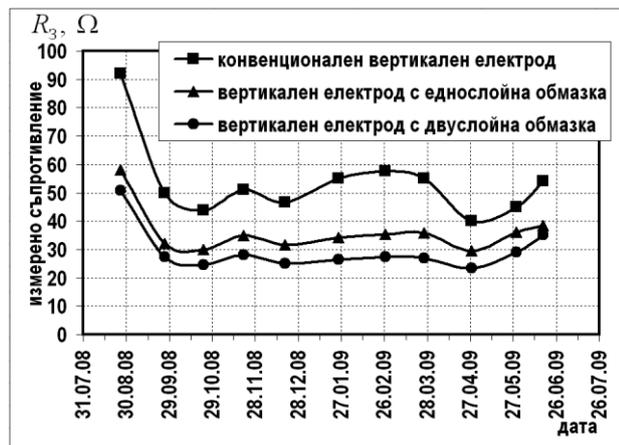
Дата	сезон	RH	t	Съпротивление на заземление			Редукция	
				R_B	R_{B1}	R_{B2}	$R_{B1}\%$	$R_{B2}\%$
		%	°C	Ω	Ω	Ω	%	%
26.08.08	С	40,8	35	92	58	50,8	37	44,8
26.09.08	В	44,4	22	50	32	27,5	36	45
23.10.08	В	49,7	18	43,8	30	24,5	31,4	44
20.11.08	В	42,5	15	51	35	28,2	31,4	44,7
19.12.08	В	43,2	10	46,5	31,5	25	32,3	46,2
25.01.09	В	44,1	15	55	34,25	26,5	37,7	51,8
27.02.09	В	33,8	4,3	57,5	35,3	27,4	38,6	52,3
26.03.09	В	48,2	9,6	55	35,75	26,9	35	51,1
28.04.09	В	42	18,1	40	29,5	23,5	26,3	41,3
29.05.09	С	54,3	16,3	45	36	29	20	35,6
17.06.09	С	42,1	20,6	54	38,5	35,2	28,7	34,8
средно							32,2	44,7

Таблица 2.2

Резултати от измерванията за хоризонталните заземители по дати

Дата	сезон	RH	t	Съпротивление на заземление		Редукция
				R_X	R_{X1}	$R_{X1\%}$
		%	°C	Ω	Ω	%
26.08.08	С	40,8	35	26	16,1	38,1
26.09.08	В	44,4	22	20,5	14,3	30,2
23.10.08	В	49,7	18	20,5	14	31,7
20.11.08	В	42,5	15	25	16,5	34
19.12.08	В	43,2	10	23,5	16	31,9
25.01.09	В	44,1	15	24	17	29,2
27.02.09	В	33,8	4,3	24,3	17,8	26,7
26.03.09	В	48,2	9,6	24,5	16,5	32,7
28.04.09	В	42	18,1	21	14,8	29,5
29.05.09	С	54,3	16,3	30,5	17,5	42,6
17.06.09	С	42,1	20,6	37,5	20,5	45,3
средно						33,8

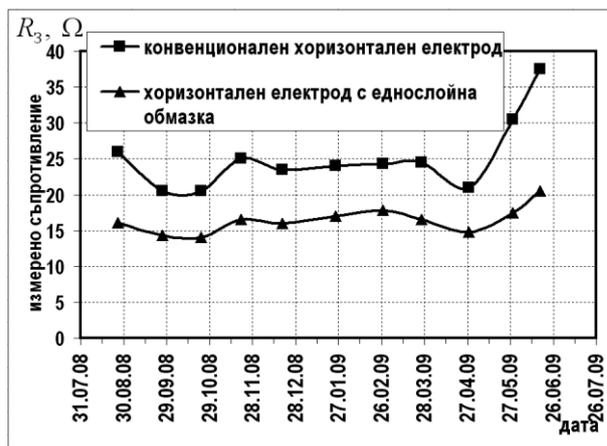
Използваните съкращения в табл. 2.1 и табл. 2.2 са както следва: С – сух сезон; В – влажен сезон; RH – влажност на въздуха; t – температура на въздуха; R_B – съпротивление на конвенционален вертикален заземител; R_{B1} – съпротивление на вертикален заземител с еднослойна обмазка; R_{B2} – съпротивление на вертикален заземител с двуслойна обмазка; R_X – съпротивление на хоризонтален конвенционален лентов заземител; R_{X1} – съпротивление на хоризонтален заземител с еднослойна проводима обмазка; $R_{B1\%}$, $R_{B2\%}$ и $R_{X1\%}$ – редуция в проценти на съответния вид заземител с проводима бетонна обмазка;



Фиг. 2.1. Изменение на съпротивлението на заземяване за изследваните вертикални заземители.

Въз основа на резултатите от измерванията са построени графичните зависимости относно изменението на съпротивлението на заземяване за различните електроди във времето (фиг. 2.1 и фиг. 2.2).

Процентната редуция на съпротивлението на заземяване във времето спрямо конвенционални хоризонтални и вертикални електроди е показана на фиг. 2.3.



Фиг. 2.2. Изменение на съпротивлението на заземяване за изследваните хоризонтални заземители.



Фиг. 2.3. Редуция в проценти на съпротивлението на заземяване за различните видове заземители с проводима бетонна обмазка спрямо конвенционалните.

3. Интерпретиране на получените резултати и изводи по отношение на практиката.

3.1. При вертикалните заземители:

- За еднослойно-обмазани електроди средната стойност на редуцията на съпротивлението е приблизително 32,2 %. Минималната регистрирана стойност е 20,5 % а максималната 38,6%;
- За двуслойно-обмазани електроди средната стойност на редуцията на съпротивлението е 44,7 %. Минималната регистрирана стойност е 34,8 %, а максималната 52,3 %;
- От фиг. 2.1. се вижда, че минимална редуция на съпротивление има през сухите летни периоди, като по силно изразена е при еднослойно-обмазаните заземители, поради по-високото специфично съпротивление на използваната обмазка.
- Зависимостите от фиг. 2.1 имат ясно различни минимума и максимума, като положително е, че при обмазаните електроди кривата е доста по-полегата, отколкото тази на конвенционалния електрод. Причина за това е хигроскопичната природа на бетона, и задържаната от него влага за по-дълъг период от време;
- Изсъхването на горния почвен слой се отразява негативно не само на конвенционалните заземители, но и на тези в проводящ бетон, но при тях

повишаването на съпротивлението в голяма степен се ограничава от проводимостта на графитната обmazка. В голяма степен проблема може да бъде овладян, ако вертикалните електроди се поставят под нивото на земята на дълбочина минимум 50 - 60 cm;

- Сравнително ниско колебание на съпротивлението на заземяване през годината.

3.2. При хоризонталните заземители:

- За еднослойно-обмазани електроди средната стойност на редуцията на съпротивлението е приблизително 33.8 %. Минималната регистрирана стойност е 29,5 %, а максималната 45,3 %;
- От фиг. 2.2 и 2.3 се вижда, че през сухите летни периоди степента на редуция на съпротивлението достига своя максимум от 45,3 %. Това е изключително благоприятно относно подобряване експлоатационните параметри на заземителя;
- Ниско колебание стойността на съпротивлението на заземяване през различните сезони, в следствие контактуването на проводящия бетон с по-долните слоеве почва, където влажността е по-голяма.

3.3. Изводи по отношение на практиката и предписания:

- От проведените изследвания може да се заключи, че използването на проводими бетонни обmazки за намаляване съпротивлението на заземителите и защита на електродите от корозия в условията на откритите рудници и други индустрии е целесъобразно и препоръчително;
- Редуцията в проценти на съпротивлението на заземяване варира от 30 – 52 % в зависимост от сезона, проводимостта на използваната обmazка, вида на заземителя и начина му на монтаж;
- При хоризонталните заземители редуцията нараства при засушаване, което води до малка зависимост на съпротивлението на заземяване от влиянието на сезоните;
- Препоръчва се вертикалните заземители с проводима бетонна обmazка да бъдат поставяни минимум на 50 - 60 cm под нивото на почвата, което би довело до увеличаване редуцията на съпротивлението на заземяване при засушаване и малки колебания на съпротивлението цялогодишно;
- Ако съдържание на графит в проводимите обmazки се избере $\frac{1}{2}$ от целия обем, редуцията на съпротивлението достига до 50 %;

Приложения



П. 1. Етап от полагането на хоризонтален лентов заземител с еднослойна проводима бетонна обmazка.



П. 2. Външен вид на вертикален заземител с еднослойна проводима бетонна обmazка.



П. 3. Приспособления за отливане на първия слой проводим бетон при вертикален заземител с двуслойна обmazка.



П. 3. Външен вид на вертикален заземител с двуслойна бетонна проводима обмазка.

Литература

Данев, И. Д. 1974. Изследване на блуждаещи токове, оценка на електрокорозионното им действие и средства за защита срещу тази опасност в условията на ДМП „Марица - Изток“- Автореферат на

Препоръчана за публикуване от
Редакционен съвет

дисертация за присъждане на научна степен "Кандидат на техническите науки", София.

Петров П. К., Г. Ц. Велев. 2007. Изследване на вертикален заземител с проводима обмазка - *Известия на ТУ-Габрово*, Том 34, Габрово, ISSN 1310-6686;

Петров П. К., Г. Ц. Велев. 2007. Подобряване съпротивлението на заземители чрез използване на проводима обмазка - *Списание „Безопасност на труда и трудова медицина“*, ЕСКАРГО - София, брой 4.

Петров П. К., Г. Ц. Велев. 23-24 ноември 2007. Изследване на проводими обмазки, допринасящи за намаляване съпротивлението на заземители – *Международна научна конференция UNITECH'07*, Габрово, ISSN 1313-230X;

Петров П. К., Г. Ц. Велев. 23-24 ноември 2007. Увеличаване на експлоатационния период на заземители в зони с интензивно влияние на блуждаещи токове – *Международна научна конференция UNITECH'07*, Габрово, ISSN 1313-230X

Chen, Li-Hsiung, J. Chen, T. Liang, W. Wang. July 2004. A study of Grounding Resistance Reduction Agent Using Granulated Blast Furnace Slag – *IEEE Transactions on Power Delivery*, VOL. 19, No. 3.

D'Alessandro, F., W. Judson, M. Havelka. November 2004. Long-term study of ground enhancing material – *International Conference on Grounding and Earthing*. Belo-Horizonte, Brazil.

Sancosha Corporation. 2000. Practical measures for lowering resistance to ground – *SAN-EARTH® - Technical review*.

СТРУКТУРА НА КАЧЕСТВОТО И НАДЕЖДНОСТТА НА ПРОДУКЦИЯТА

Снежана Стоянова¹, Георги Тасев²

¹ Технически колеж – Университет „Проф. д-р Ас. Златаров“, Бургас; E-mail: stoyanova_8000@yahoo.com

² Лесотехнически университет-София; E-mail: a_tassev@yahoo.com

РЕЗЮМЕ. С помощта на системния подход качеството и надеждността могат да бъдат структурирани на три йерархически равнища: свойства, показатели и характеристики, като свойствата се изразяват с показатели, а показателите – с характеристики. Обосновани са основните елементи на концептуалните определения за качество и надеждност на продукцията. Предложена е квалификация на свойствата и показателите на качеството и надеждността на продукцията. Разработена е класификация на числените и функционалните характеристики на показателите за качеството и надеждността на продукцията.
Ключови думи: качество, надеждност, работоспособност, трайност, ремонтпригодност, съхранение, стабилност, числени и функционални характеристики.

STRUCTURE OF QUALITY AND DEPENDABILITY OF PRODUCTION

Snejana Stoyanova¹, Georgi Tasev²

¹ Technical college – Bourgas Prof. Assen Zlatarov University; E-mail: stoyanova_8000@yahoo.com

² University of Forestry – Sofia; E-mail: a_tassev@yahoo.com

ABSTRACT. With the help of the systemic approach the quality and dependability could be structured in three hierarchical levels: attributes, indicators and characteristics, whereas the attributes are expressed by indicators and the indicators – by characteristics. The basic elements of the conceptual definitions for quality and dependability of the production are found out. A qualification of the attributes and indicators of quality and dependability of the production is suggested. A classification of the numeral and functional characteristics of the indicators for quality and dependability of the production is worked out.

Key words: quality, dependability, flawlessness, durability, repair suitability, storage, stability, numeral and functional characteristics.

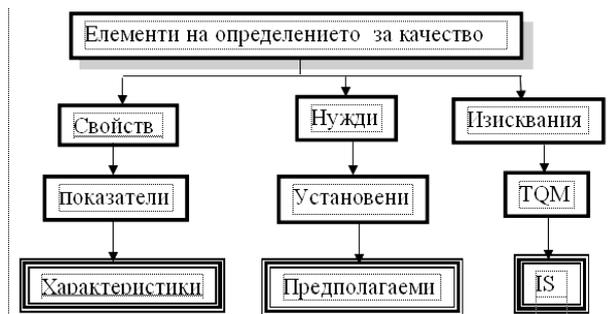
Качеството и надеждността на продукцията се изразяват с голям брой свойства, показатели и характеристики [1][2][3][4]. Тяхното използване без систематизирано групиране и класифициране е свързано с определени трудности. В литературата и нормативно-техническата документация свойствата, показателите и характеристиките на качеството и надеждността не са систематизирани и не са свързани едни с други, а показателите и характеристиките са смесени и се изразяват само като показатели [5][6].

С помощта на системния подход качеството и надеждността могат да бъдат структурирани на три йерархически равнища: свойства, показатели и характеристики, като свойствата се изразяват с показатели, а показателите – с характеристики [4][6].

Качеството е съвкупност от свойства, които задоволяват нуждите и/или изискванията на потребителите, а **надеждността** – комплексно свойство за запазване на равнището на качеството в установени граници, време, режим и условия. Основните елементи на концептуалното определение за качество са свойствата, нуждите и изискванията. Свойствата на качеството се изразяват със специфични и комплексни показатели, а показателите – с числени и функционални характеристики. Основните елементи на концептуалното определение за качество са свойства, нужди и изисквания (фиг. 1)

Нуждите на потребителите са многообразни и сложни. В зависимост от културното равнище те се изразяват с различни потребности, които могат да бъдат установени или предполагаеми. Установени са потребностите, записани в договори или нормативни документи, предполагаеми потребности на пазара и /или развитието на потребностите на хората и обществото.

Изискванията на потребителите се отличават с голямо разнообразие и могат да се изразят по различен начин (в договори за поръчки и доставки, с нормативни документи и т.н.), или да останат латентни. В общ вид тези изисквания са формулирани в съвременните системи за мениджмънт на качеството: системата от серията стандарти ISO-9000:2000 и системата за тотално качество (TQM).

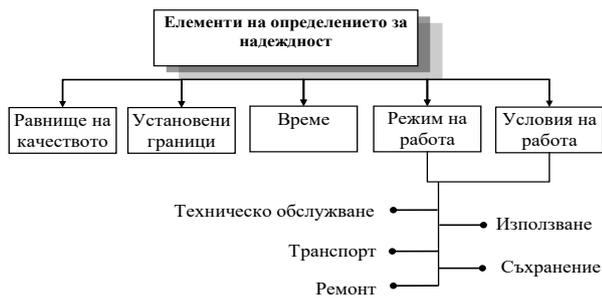


Фиг. 1. Елементи на определението за качество

Изискванията на системата от серията стандарти ISO 9000:2000 включват гаранции от фирмата за точно идентифициране изискванията на потребителите, предлагане на продукцията, съответстваща на тези изисквания, създаване на условия за производство на предлаганата продукция, стабилно поддържане и сертификация на тези условия.

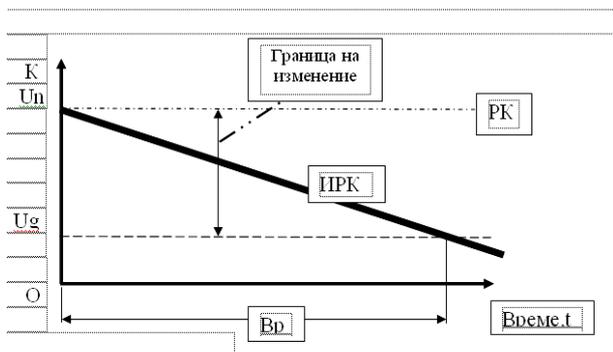
Системата за мениджмънт на тоталното качество поставя изисквания за точно разбиране и бързо реагиране, за пълно, непрекъснато и изпреварващо задоволяване нуждите на потребителите.

Основните елементи на концептуалното определение за надеждност са равнището на качеството, установените граници, време, режим на работа и условия на работа (фиг.2).



Фиг. 2. Елементи на определението за надеждност на продукцията

Установените граници обхващат изменението на равнището на качеството от началните до граничните стойности на основните параметри на обектите (фиг.3). Режимите и условията са установени за използване, съхраняване, транспортиране, техническо обслужване и ремонт на обектите по предназначение.

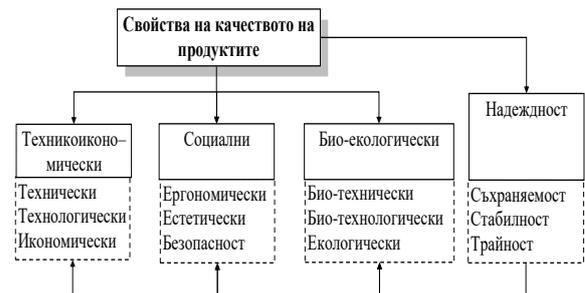


Фиг.3. Динамика на изменение на качеството: К-качество; ПК-равнище на качеството; ИПК-изменение на равнището на качеството; Ug-гранично състояние; Un-начално (номинално) състояние ; Вр-време

Свойствата на качеството са тези свойства на продукцията, които задоволяват нуждите и/или изискванията на потребителите. В най-общ случай качеството има четири групи свойства: технико-икономически, социални, био-екологически и надеждности (фиг.4). Първите три групи свойства определят равнището на качеството, а надеждностите - изменението (запазването) на това равнище във времето. Технико-икономическите свойства пряко изразяват равнището на качеството и се делят на три групи: технически, технологически и икономически. Всяка една от групите съдържа в себе си следните свойства и

показатели: **технически**: функционални, структурни, геометрични, конструктивни, за техническо съвършенство; **технологически**: технологичност на проектирането, изработването, експлоатацията, ремонта и поддържането, транспортирането; **икономически**: икономичност на проектирането, изработването, експлоатацията, ремонта и поддържането, транспортирането.

И ако всички други показатели се изразяват от наименованието, то показателите за техническо съвършенство включват патентно-правните показатели, които изразяват патентната защита и патентната честота на продукцията. Показателят за патентна защита характеризира изключителното право за производство на дадена продукция, а показателят за патентна чистота - възможността за нейната безпрепятствена реализация в страната и чужбина.



Фиг. 4. Структура и взаимовръзка на свойствата на качеството

Въздействието на продукцията върху хората се определя от социалните свойства на качеството, които обхващат четири подгрупи: ергономически, естетически, органолептически и безопасност. Всяко едно от тези свойства се изразява със следните показатели: ергономически - хигиенни, антропометрични, физиологични, психологични, психофизиологични; естетически - информационна изразителност, рационалност на формата, композиционно единство, цветово решение, съвършенство на изпълнението; органолептически - показатели възприети чрез: зрението, слуха, обонянието, осезанието и вкуса; безопасност - механическа, техническа, електрическа, химическа и физическа.

Въздействието на обекта върху биологическите видове и околната среда се определя от био-екологическите свойства на качеството, които включват три подгрупи: био-технически, био-технологически и екологически, а показателите на свойствата на всяка от подгрупите са: био-технически - био-техничност за растения и за животни; био-технологически - био-технологичност за растения, животни и микроорганизми; екологически - екологичност за въздуха, водата, почвата, флората и фауната.

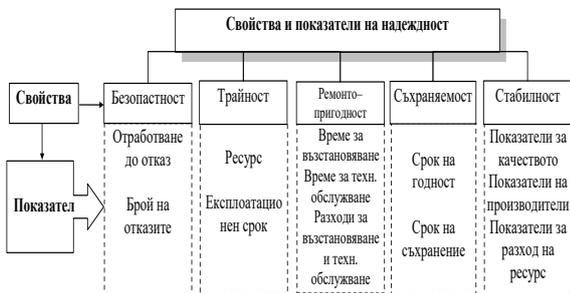
Надеждността (фиг.5) е комплексно свойство, което може да включва безотказност, трайност, ремонтпригодност, съхраняемост и стабилност по отделно или в съчетание в зависимост от вида на продукцията. Продукцията за еднократно използване има само едно от свойствата на надеждността - съхраняемост, а неремонтируемите обекти - две свойства: безотказност и съхраняемост. Ремонтируемите обекти може да имат четири свойства:

безотказност, трайност, ремонтпригодност и съхраняемост, а процесите и системите - всичките пет свойства.

Свойствата на надеждността се изразяват със специфични и комплексни показатели, като специфичните показатели изразяват само едно свойство, а комплексните - повече от едно свойства (фиг.5 и 6).

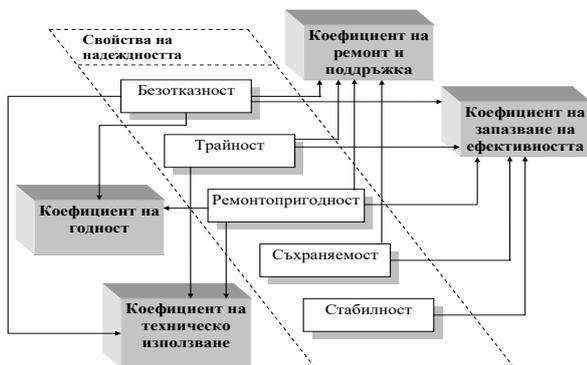
Стабилността е свойство на процесите и/или системите да запазват състоянието си във времето. Свойството стабилност се характеризира с три вида показатели: стабилност на качеството; стабилност на производителността; стабилност на разхода на ресурси.

Стабилността е свойство на процесите и/или системите да запазват състоянието си във времето. Свойството стабилност се характеризира с три вида показатели: стабилност на качеството; стабилност на производителността; стабилност на разхода на ресурси.



Фиг. 5. Свойства и показатели на надеждността на продукцията

Показателите на качеството и надеждността могат да бъдат постоянни и случайни величини. Като постоянни величини показателите на качеството и надеждността имат само една характеристика - тяхната стойност, а като случайни величини - характеристики, които се делят на: характеристики на групиране, характеристики на разсейване, квантилни характеристики, специални характеристики и пълни характеристики (фиг. 7). Първите две групи са числени характеристики, а последните три групи - функционални характеристики.

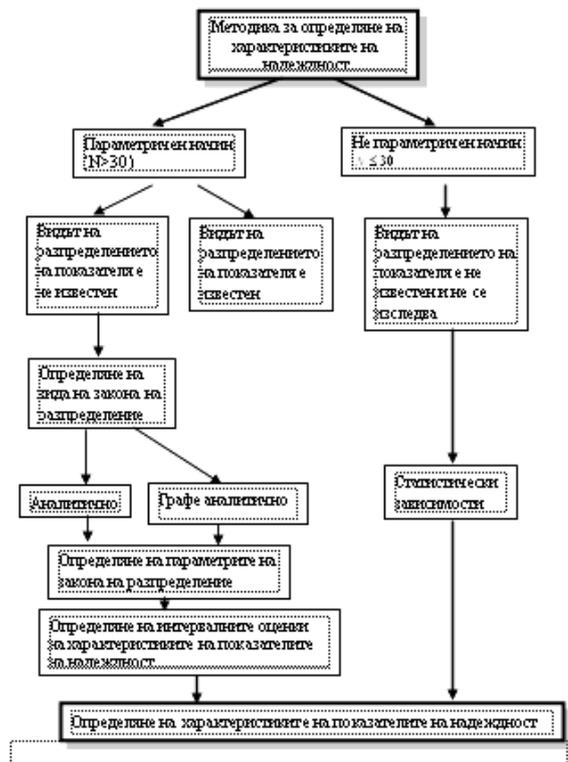


Фиг. 6. Същност и съдържание на комплексните показатели на надеждността на продукцията



Фиг. 7. Характеристики на показателите за качество и надеждност на продукцията

Зависимост от вида на продукцията (обекта) и характера на задачите се избират едни или други свойства, показатели и характеристики. Характеристиките на показателите на надеждност се определят по параметричен начин или непараметричен (фиг.8).



Фиг. 8. Структура и взаимовръзка на елементите на методиката за определяне на числените характеристики на показателите на надеждност.

Изводи

1. Обосновани са основните елементите на концептуалните определения за качество и надеждност на продукцията.
2. Предложена е квалификация на свойствата и показателите на качеството и надеждността на продукцията.
3. Разработена е класификация на числените и функционалните характеристики на показателите за качеството и надеждността на продукцията.

Литература

1. Тончев Г. Надеждност на промишлените изделия., Русе, 1973.
2. Тончев Г. Качество и надеждност на стоките.-VIII НН-ПК с международно участие, С. - 1997.
3. Тасев Г. Теоретични основи на надеждността, С., 2002.
4. Тасев Г. Икономика на качеството.-С.,2004.
5. ISO 9000 : 2000.
6. Тасев Г. и др. Приложение на статистическите методи в системите за управление на качеството.-Шумен, 2007.

*Препоръчана за публикуване от
Редакционен съвет*

ОТНОСИТЕЛНА ПЛЪТНОСТ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИЯ ТОК СЪЗДАДЕН ОТ ДВА РАЗНОПОЛЯРНИ ИЗТОЧНИКА НА ТОК (ЗАЗЕМТЕЛИ) ВЪВ ФУНКЦИЯ ОТ РАЗСТОЯНИЕТО МЕЖДУ ТЯХ И ОТ ДЪЛБОЧИНАТА НА РАЗПРОСТРАНЕНИЕТО НА ТОКА В ЗЕМЯТА

Стефан Стефанов¹, Теодора Христова², Любомир Атанасов³

¹Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, e-mail: teodora@mgu.bg

²Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

³Технически университет 1700 София

РЕЗЮМЕ. В статията е разгледан случаят, когато два разнополярни точковидни източници на ток са поставени в тримерно проводящо пространство – „земя“, ограничено от безкрайна равнина на друго пространство – „въздух“, с безкрайно голямо съпротивление.

Определен е интензитетът на стационарното електрическо поле и потенциалът в произволна точка, намираща се в проводящото полупространство и общата плътност на тока в същото това полупространство, като функция от дълбочината на разположението на разглежданата точка.

RELATIVE DENSITY OF ELECTRICAL CURRENT Q GENERATED BY TWO HETERO-POLAR ELECTRICAL SOURCES (GROUNDED) AS A FUNCTION OF THE DISTANCE BETWEEN THEM AND OF THE DEPTH OF THE SPREADING OF THE CURRENT IN THE EARTH

Stefan Stefanov¹, Teodora Hristova², Lubomir Atanasov³

¹University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: teodora@mgu.bg

²University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia

³Technical University, 1700 Sofia

ABSTRACT. In this paper is presented a case when two hetero-polar point-formed electrical sources are situated in three dimensional conductive areas – "earth" (restricted by indefinite surface of other area) - "air" (with indefinite great resistance). The aim is to be determined the intension of stationary electrical field and the potential in odd point, located in the conductive semi area and total density of electric current in the same semi area, as a function of the depth of the location of odd point.

Увод

При корозионните изследвания се разглеждат законите за разпределение на токовете в тримерно проводящо пространство „земя“, ограничена от безкрайна равнина на друго пространство „въздух“, с безкрайно голямо съпротивление. Въздухът в сравнение със земята практически не е проводник, затова на границата, която ги разделя, нормалната съставлява на плътността на тока се изразява с формулата (Козаров 1991, Бургсдорф 1987r):

$$\delta_n = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial U}{\partial n}, \quad (1)$$

където ρ е специфичното електрическо съпротивление на средата, Ωm ;

n - посоката на нормалата към повърхността разделяща средите, показваща непрекъснатостта на нормалната съставлява на вектора на плътността на тока;

U - потенциалът на електрическото поле.

За осъществяване на контакта между земята и уредбата, с помощта на която се въвежда токът или се извършват измервания на параметрите на електрическото поле в

земята, се използват електроди-заземители, които в практиката на геофизичното електропроучване и електрозащитните работи на подземните метални съоръжения, имат различна форма: сферична, цилиндрична, дискова и накрая, системи от заземления с различна конфигурация в план и разрез.

Единичното заземление или система от заземления на голямо разстояние (по-голямо от десетократния радиус на електрода (Костуба, 1993) създават токове и електрическо поле, както и сферичен електрод с малък радиус, наподобяващ точковиден електрод. Потенциалът във всяка точка на такова разстояние от електрод с произволна форма може да се изчисли по формулата за потенциала на точковиден електрод. Затова при разглеждане на изчисленията на параметрите на електрическото поле за случая в проводяща среда се изхожда от представата за протичането на ток от точковидни електроди.

Теоретична обосновка

Разглежда се точковиден електрод, захранван с ток със сила I , поставен в еднородна, изотропна и безгранична

среда. За определяне на разпределението на потенциала U в разглежданата среда се използва диференциалното уравнение на Лаплас. Решението се извършва в сферична координатна система, центърът на която съвпада с центъра на точковидния източник на ток:

$$\frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial U}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial U}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial \alpha^2} = 0 \quad (2)$$

Вследствие на еднородността на средата потенциалът U във всяка точка от нея M на разстояние r от началото на координатната система не зависи от полярния α и азимуталния θ ъгли. Решението на диференциалното уравнение на Лаплас зависи само от координатата r , т.е. $U = U(r)$. В този случай производните на останалите променливи са равни на нула и уравнение (2) добива вида:

$$\frac{1}{r^2} \cdot \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dU}{dr} \right) = 0 \quad (3)$$

От уравнение (3) следва: $\frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dU}{dr} \right) = 0$;

$$r^2 \frac{dU}{dr} = A; \quad \frac{dU}{dr} = \frac{A}{r^2}, \quad (4)$$

откъдето за потенциала се получава

$$U = U(r) = -\frac{A}{r} + B \quad (5)$$

Константите A и B се определят по следния начин. В безкрайно отдалечените точки при $r = \infty$, потенциалът на електрическото поле $U = 0$. Тогава от уравнение (5) следва, че $B = 0$.

Токът протичащ през произволно избрана сферична повърхнина с радиус r е равен:

$$I_s = \int_s \vec{\delta} \cdot d\vec{s} = \frac{1}{\rho} \int_s \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{1}{\rho} \int_s E \cdot ds = -\frac{1}{\rho} \int_s \frac{dU}{dr} ds = -\frac{1}{\rho} \int_s \frac{A}{r^2} ds = -\frac{A}{\rho r^2} \int_s ds = -\frac{A}{\rho r^2} \cdot 4\pi r^2 = -\frac{4\pi A}{\rho} \quad (6)$$

откъдето $A = -\frac{\rho I}{4\pi}$

След заместване на константите A и B в уравнение (5) се получава израза за потенциала на електрическото поле в явен вид

$$U = U(r) = -\frac{A}{r} + B = -\left(-\frac{\rho I}{4\pi r} \right) + 0 = \frac{\rho I}{4\pi r} \quad (7)$$

Еквипотенциалните повърхнини удовлетворяват условието

$$r = \frac{\rho I}{4\pi U} = const;$$

а интензитетът на електрическото поле се определя по формулата

$$E = -\frac{dU}{dr} = \frac{\rho I}{4\pi r^2}. \quad (8)$$

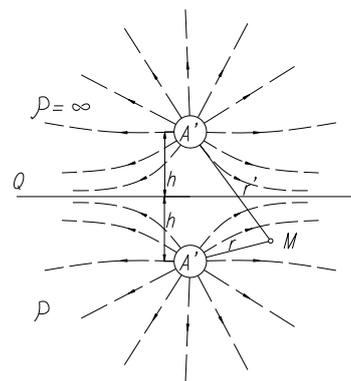
Големината на вектора на плътността на тока се определя посредством израза

$$\delta = \frac{E}{\rho} = \frac{I}{4\pi r^2} \quad (9)$$

Разглежда се случаят, когато източникът на ток е разположен на повърхността на земята, която в случая е проводящо полупространство, граничещо със среда с безкрайно голямо съпротивление – въздухът. На земната повърхност трябва да се спазва условието за равенство на нула на нормалната съставка на плътността на тока [1,2], т.е. уравнение (1) се записва така:

$$\delta_n = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial U}{\partial n} = 0 \quad (10)$$

За определяне на закона на разпределение на потенциала на електрическото поле в проводящо полупространство се предполага, че източникът на ток A се намира в проводящата среда на разстояние h от границата на разделяне (фиг. 1.)



Фиг. 1. Линии на тока в близост до земната повърхност

Граничното условие (10) ще бъде спазено ако се предположи, че пространството „въздух“ е запълнено с еднородна проводяща среда със специфично електрическо съпротивление ρ и в точка A' (огледален

образ на точковидния източник в равнината Q) се намира втори точковиден източник на ток $I' = I$.

В точка M потенциалът на електрическото поле е равен на алгебричната сума от потенциалите на полетата, създадени от източниците на ток A и A':

$$U_M = U_{AM} + U_{A'M} = \frac{\rho I}{4\pi r} + \frac{\rho I'}{4\pi r'} = \frac{\rho I}{4\pi} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'} \right)$$

В правоъгълна координатна система с център в източника на ток A

$$U_M = \frac{\rho I}{4\pi} \left[\frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} + \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2 + (2h - z)^2}} \right] \quad (11)$$

Ако източникът на ток A е разположен на повърхността на земята, т.е. $h = 0$, уравнение (11) добива вида

$$U_M = \frac{\rho I}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (12)$$

Интензитетът на електрическото поле и плътността на тока съответно са равни на:

$$E = \frac{\rho I}{2\pi r^2} \quad (13)$$

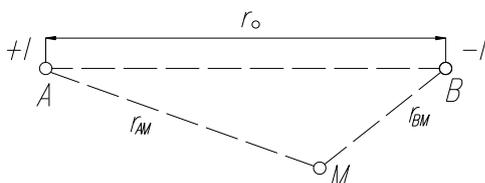
$$\delta = \frac{I}{2\pi r^2} \quad (14)$$

От формули (12), (13) и (14) следва, че при разполагане на захранващия електрод на границата „земя-въздух“, екипотенциалните повърхнини са полусфери с център в източника на ток и удовлетворяват равенството $r = const$.

Линиите на интензитета на полето и на тока са радиални прави, излизащи от източника на ток, а потенциалът на електрическото поле и плътността на тока намаляват обратно пропорционално на квадрата на разстоянието от източника на ток. От практическа гледна точка са възможни случаите, когато електрическото поле е създадено от два разнополярни:

1. точковидни източника на ток;
2. линейни източника на ток;
3. линейен и точковиден източника на ток.

В статията по-нататък се разглежда само първият случай, когато два разнополярни точковидни заземители A и B, са поставени в еднородно и изотропно пространство на разстояние r_0 един от друг (фиг.2).



Фиг. 2.

В произволна точка M на проводящото полупространство

$$U_M = U_{AM} + U_{BM} = \frac{\rho I}{2\pi r_{AM}} - \frac{\rho I'}{2\pi r_{BM}} = \frac{\rho I}{3\pi} \left(\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{BM}} \right), \quad (15)$$

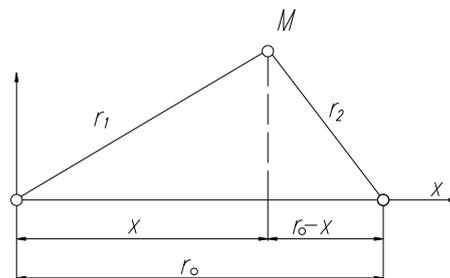
където r_{AM} и r_{BM} са разстоянията между точка M и заземителите A и B.

От формула (15) следва, че екипотенциалните повърхнини на електрическото поле на две заземления не са концентрични сфери и удовлетворяват условието.

$$\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{BM}} = const$$

Ако точка M е разположена на повърхността на полупространството (фиг.3), то $r_{AM} = r_1 = \sqrt{x^2 + y^2}$

$$\text{и } r_{BM} = r_2 = \sqrt{(r_0 - x)^2 + y^2}.$$



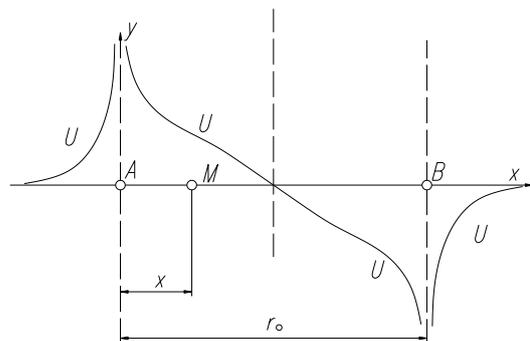
Фиг. 3. Изчисляване на електрическото поле на два точковидни заземителя

Тогава потенциалът в произволна точка от земната повърхност M от електродите A и B е равен:

$$U_M = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2}} - \frac{1}{\sqrt{(r_0 - x)^2 + y^2}} \right) \quad (16)$$

От формула (16) следва, че потенциалът U_M , когато $y = 0$ (точката M е разположена на линията AB) в точка A е равен на безкрайност. С увеличаване на x , той

намалява. В точка $x = \frac{r_0}{2}$, потенциалът U_M е равен на нула, след това се увеличава по абсолютна стойност, но с обратен знак и в точка B е равен на безкрайност (фиг.4)



Фиг. 4

Потенциалната разлика между точките М и N на повърхността на земята от източниците на ток А и В е равна:

$$\Delta U_M = U_M - U_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right), \quad (17)$$

където $r_3 = r_{AN}$ и $r_4 = r_{BN}$ са разстоянията от точка М до точки А и В.

Тъй като $E = -\frac{dU}{dr}$, то за произволна точка М на земната повърхност стойностите на проекциите върху координатните оси са:

$$E_x = -\frac{\partial U}{\partial x} = \frac{\rho I}{2\pi} \left[-\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2}} - \frac{1}{\sqrt{(r_0 - x)^2 + y^2}} \right) \right] =$$

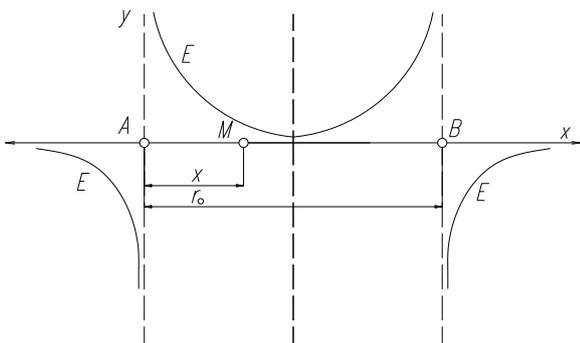
$$= \frac{\rho I}{2\pi} \left\{ \frac{x}{(x^2 + y^2)^{3/2}} + \frac{r_0 - x}{[(r_0 - x)^2 + y^2]^{3/2}} \right\}$$

$$E_y = \frac{\rho I}{2\pi} \left\{ \frac{y}{(x^2 + y^2)^{3/2}} - \frac{y}{[(r_0 - x)^2 + y^2]^{3/2}} \right\}. \quad (19)$$

Изразът за интензитета на електрическото поле в точките от правата, съединяваща източниците на ток А и В (при $y = 0$), има вида

$$E = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{1}{x^2} + \frac{1}{(r_0 - x)^2} \right] \quad (20)$$

В точките А и В (формула 20), интензитетът на полето е безкрайност (фиг. 5)



Фиг. 5.

В произволна точка М от равнината Q-Q (фиг. 6), преминаваща през средата на отсечката А-В, на дълбочина h , общата плътност на тока δ_{AB} предизвикана в земята от разположените в нея точковидни

източници А и В, е равна на геометричната сума от плътността на токовете $+I$ и $-I$.

Плътността на тока $\delta_A = \frac{I}{2\pi r_A^2}$, а

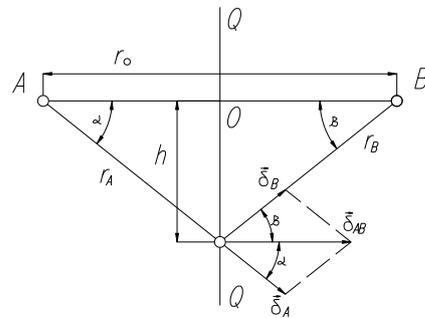
$\delta_B = -\frac{I}{2\pi r_B^2}$ (фиг. 6), следователно

$$\delta_{AB} = \delta_A + \delta_B = \frac{I}{2\pi r_A^2} \cos \alpha - \frac{I}{2\pi r_B^2} \cos \beta =$$

$$= \frac{I}{2\pi} \left[\frac{\cos \alpha}{r_A^2} - \frac{\cos(180 - \alpha)}{r_B^2} \right]$$

Но $\cos(180 - \alpha) = -\cos \alpha$. Тогава

$$\delta_{AB} = \frac{I}{2\pi} \left(\frac{\cos \alpha}{r_A^2} + \frac{\cos \alpha}{r_B^2} \right) = \frac{I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_A^2} + \frac{1}{r_B^2} \right) \cos \alpha$$



Фиг. 6. Изменение на плътността на тока в зависимост от дълбочината h

Тъй като $r_A = r_B = r$, то

$$\delta_{AB} = \frac{I}{2\pi} \cdot \frac{2}{r^2} \cos \alpha = \frac{I}{\pi r^2} \cos \alpha \quad (21)$$

На земната повърхност в точка О, където $h = 0$, $\cos \alpha = 1$, $r = \frac{r_0}{2}$, а плътността на тока е

$$\delta_0 = \frac{4I}{\pi r_0^2} \quad (22)$$

Но $r = \frac{h}{\sin \alpha}$, а формула (21) добива вида

$$\delta_{AB} = \frac{I}{\pi r^2} \cos \alpha = \frac{I}{\pi \frac{h^2}{\sin^2 \alpha}} =$$

$$= \frac{I}{\pi h^2} \sin^2 \alpha \cos \alpha = \frac{I}{\pi h^2} \sin \alpha \sin \alpha \cos \alpha =$$

$$\frac{I}{\pi h^2} \sin \alpha \frac{\cos \alpha}{2} = \frac{I}{2\pi h^2} \sin 2\alpha \sin \alpha$$

Когато $h = 0$, ъгълът $\alpha = 0$, а границата

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{I}{2\pi} \frac{\sin 2\alpha \sin \alpha}{h^2} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{I}{\pi} \frac{\sin^2 \alpha \cos \alpha}{h^2}$$

Но $\sin \alpha = \frac{h}{r}$. Тогава

$$\frac{I}{\pi} \lim_{h \rightarrow 0} \frac{\frac{h^2}{r^2} \cos \alpha}{h^2} = \frac{I}{\pi} \lim_{h \rightarrow 0} \frac{\cos \alpha}{r^2}$$

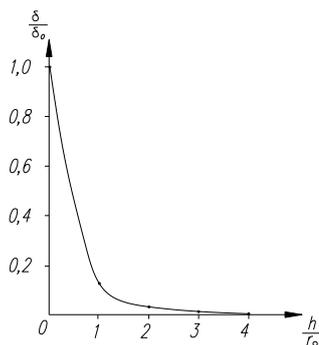
Тъй като

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \sqrt{1 - \frac{h^2}{r^2}}, \text{ то}$$

$$\frac{I}{\pi} \lim_{h \rightarrow 0} \frac{\cos \alpha}{r^2} = \frac{I}{\pi} \cdot \frac{1}{r^2} \lim_{h \rightarrow 0} \sqrt{1 - \frac{h^2}{r^2}} = \frac{I}{\pi r^2} = \frac{4I}{\pi r_0^2}$$

С увеличаване на дълбочината h (формула 23) плътността на тока намалява от стойността $\frac{4I}{\pi r_0^2}$ до нула

(при $h \rightarrow \infty$), при което в началото плътността на тока намалява по-малко интензивно, отколкото по обратноквадратична зависимост, тъй като нараства не само знаменателят, но и числителят. При ъгъл α , превишаващ 45° , $\sin \alpha$ намалява. Следователно започвайки от някаква стойност $\alpha = \alpha_1$, намаляването на плътността на тока с увеличаване на h е по-интензивно, отколкото по обратноквадратична зависимост. Кривата на изменение на плътността на тока в зависимост от дълбочината h е показана на фиг.7.



Фиг. 7. Графика на изменението на плътността на тока с изменение на дълбочината h

Отношението на плътността на тока δ в дълбочина, към плътността на тока δ_0 на земната повърхност в точка О е равно

$$\frac{\delta}{\delta_0} = \frac{I \cos \alpha}{\pi r^2} : \frac{4I}{\pi r_0^2}$$

Но $r = \frac{r_0}{2 \cos \alpha}$, тогава

$$\frac{\delta}{\delta_0} = \frac{\left(\frac{r_0}{2}\right)^3}{r^3} = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{2h}{r_0}\right)^2\right]^{3/2}}, \quad (24)$$

тъй като $r = \sqrt{\left(\frac{r_0}{2}\right)^2 + h^2}$.

От израза (24) и кривата (фиг. 7) следва, че разпределението на плътността на тока с изменение на дълбочината зависи от разстоянието между захранващите електроди А и В. Колкото е по-голямо разстоянието между електродите, толкова е по-голяма дълбочината h , на която може да се наблюдава стойността $\frac{\delta}{\delta_0}$.

Заклучение

Изведена е формула за определяне на относителната плътност на тока в зависимост от разстоянието между разнополярни точковидни източници на ток и дълбочината на проникването му в земята. Забележка. Формула (24) е точна в случая, когато разглежданата произволна точка се намира в еднопластова проводяща, еднородна и изотропна среда.

Литература

- Козаров А. С., С. А. Стефанов. Теоретични основи на електротехниката, част III, София, 1991 година
 Бургсдорф В. В., А. И. Якобс, Заземляющие устройства электроустановок, Москва, ЭНЕРГЕАТОМИЗДАТ, 1987
 Костуба С. И., Измерения электрических параметров земли и заземляющих устройств, Москва, ЭНЕРГЕАТОМИЗДАТ, 1983
 Шимони К., Теоретическая электротехника, изд. „Мир“, Москва, 1964 г.

Препоръчана за публикуване от
 Катедра «Електротехника», МЕМФ

ПОТЕНЦИАЛ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКОТО ПОЛЕ В ПРОИЗВОЛНА ТОЧКА В ЗЕМЯТА, СЪЗДАДЕН ОТ РАЗНОПОЛЯРНИ ЛИНЕЙНИ И ЛИНЕЕН И ТОЧКОВИДЕН ИЗТОЧНИЦИ НА ТОК

Стефан Стефанов¹, Теодора Христова², Любомир Атанасов³

¹Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, e-mail teodora@mgu.bg

²Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

³Технически университет 1700 София,

РЕЗЮМЕ. Разгледани са случаите, когато два разнополярни линейни източници и разнополярен линеен и точковиден източници на ток са поставени в тримерно проводящо пространство – „земя“, ограничено от безкрайна равнина на друго пространство – „въздух“, с безкрайно голямо съпротивление. Изведени са изрази, посредством които се определя потенциалът на произволна точка, разположена в проводящата среда (земята) за разглежданите два случая.

POTENCIAL OF ELECTRICAL FIELD IN ODD POINT IN EARTHQ CREATED BY HETERO-POLER LINEAR SOURCES AND HETERO-POLED LINEAR POINT-FORM ELECTRICAL SOURCES

Stefan Stefanov¹, Teodora Hristova², Lubomir Atanasov³

¹University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail teodora@mgu.bg

²University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia

³Technical University Q1700 Sofia,

ABSTRACT. The paper discusses the situations when two hetero-polar linear sources and hetero-polar linear point-form electrical sources are found in three dimensional conductive areas – "earth" (restricted by indefinite surface of other area) - "air" (with indefinite great resistance). We deduct expressions through that the potential of odd point from the conductive area (earth) for two cases examined.

Увод

Съществен елемент на уредбите, с помощта на които се осъществява контакт между земята и захранващата (при катодна защита на подземните метални съоръжения от корозия) или измервателната (при определяне на специфичното съпротивление на почвата) вериги е електродът-заземител. Той може да е с различна форма: сферична, цилиндрична, дискова и т.н.

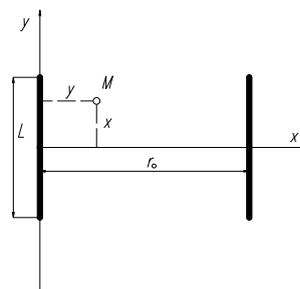
В [1] е разгледан случаят, когато точковидни (сферични) електрода, захранвани от източници на ток с полярност +I и -I са поставени в еднородна, изотропна и безгранична среда. Определени са интензитетът на стационарното електрическо поле и потенциалът в произволна точка, намираща се в проводящата среда (земята), и разпределението на плътността на тока, като функция от дълбочината, на която се намира разглежданата точка в проводящата среда.

В статията се разглеждат два случая и са решени част от проблемите при други условия, дефинирани в [1].

Първи случай

Стационарното електрическо поле е създадено от два разнополярни линейни източници на ток. Определя се

разпределението на потенциала на точки от площта на правоъгълник, от двете двете противоположни страни на който се намират двата линейни електрода, чрез които в земята постъпва ток със сила +I и -I (фиг.1).



Фиг.1

Началото на правоъгълната координатна система е поместено в средата на един от електродите, оста y е с посока, която съвпада с посоката определена от дължината на електрода, а оста x е перпендикулярна на нея. Предполага се, че съпротивлението на разтичане на тока за всеки от електродите по цялата им дължина е едно и също. Приема се, че елемент с дължина dL от електрода е еквивалентен на точковиден електрод,

захранван с ток със сила $\frac{I}{L} dL$. Потенциалът създаден

от този точковиден електрод, в която и да е точка М от правоъгълника с координати х и у е равен на:

$$dU = \frac{\rho \frac{I}{L} dL}{2\pi\sqrt{x^2 + (y - \eta)^2}} [1,2,3] (1),$$

където η е координатата на точковидния електрод.

След интегриране на уравнение (1) по отношение на променливата η по цялата дължина на електрода от $-\frac{I}{L}$ до $+\frac{I}{L}$, се получава стойността на потенциала на целия електрод. Тъй като $dL = d\eta$, то

$$\begin{aligned} \int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} \frac{d\eta}{\sqrt{x^2 + (y - \eta)^2}} &= \int_{-(y+\frac{L}{2})}^{-(y-\frac{L}{2})} \frac{d\tau}{\sqrt{\tau^2 + x^2}} = \ln \left| \tau + \sqrt{x^2 + \tau^2} \right| \Big|_{-(y+\frac{L}{2})}^{-(y-\frac{L}{2})} = \\ &= \ln \left[-\left(y - \frac{L}{2}\right) + \sqrt{\left(y - \frac{L}{2}\right)^2 + x^2} - \ln \left[-\left(y + \frac{L}{2}\right) + \sqrt{\left(y + \frac{L}{2}\right)^2 + x^2} \right] = \ln \frac{\sqrt{x^2 + \left(y - \frac{L}{2}\right)^2} - \left(y - \frac{L}{2}\right)}{\sqrt{x^2 + \left(y + \frac{L}{2}\right)^2} - \left(y + \frac{L}{2}\right)} \\ \text{а } U_+ &= \frac{\rho I}{2\pi L} \ln \frac{\sqrt{x^2 + \left(y - \frac{L}{2}\right)^2} - \left(y - \frac{L}{2}\right)}{\sqrt{x^2 + \left(y + \frac{L}{2}\right)^2} - \left(y + \frac{L}{2}\right)}. (2) \end{aligned}$$

След замяна на $+l$ с $-l$ и на x с $(r_0 - x)$ се получава стойността на потенциала U_- на целия втори електрод, захранван със сила на тока $-I$:

$$U_M = \frac{\rho I}{2\pi L} \ln \frac{\left[\sqrt{x^2 + \left(y - \frac{L}{2}\right)^2} - \left(y - \frac{L}{2}\right) \right] \left[\sqrt{(r_0 - x)^2 + \left(y + \frac{L}{2}\right)^2} - \left(y + \frac{L}{2}\right) \right]}{\left[\sqrt{x^2 + \left(y + \frac{L}{2}\right)^2} - \left(y + \frac{L}{2}\right) \right] \left[\sqrt{(r_0 - x)^2 + \left(y - \frac{L}{2}\right)^2} - \left(y - \frac{L}{2}\right) \right]}. (4)$$

Приемайки в израза (4) $U_M = const$, се намира уравнението на еквипотенциалните линии на полето, създадено от линейни разнополярни източници на ток.

Втори случай.

Линейният източник на ток е електродът А с дължина L захранван със сила на тока $+I$. Точковидният източник на ток е електродът В, захранван със сила на тока $-I$, разположен на перпендикуляра от средата на електрода А, на разстояние r_0 (фиг.2).

$$U_+ = \frac{\rho I}{2\pi L} \int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} \frac{d\eta}{\sqrt{x^2 + (y - \eta)^2}}.$$

$$\text{Известно е, че } \int \frac{dx}{\sqrt{x^2 + a^2}} = \ln \left(x + \sqrt{x^2 + a^2} \right).$$

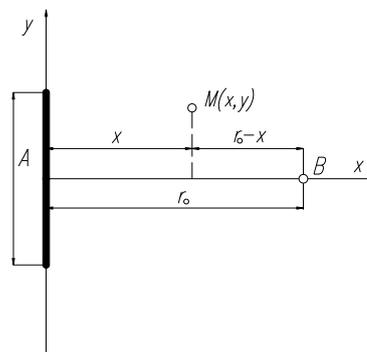
Полага се: $\eta - y = \tau$, откъдето $d\eta = d\tau$. При

$$\eta = -\frac{L}{2}, \tau = -\frac{L}{2} - y, \text{ а при } \eta = +\frac{L}{2},$$

$$\tau = -\frac{L}{2} - y. \text{ Тогава:}$$

$$\begin{aligned} \int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} \frac{d\eta}{\sqrt{x^2 + (y - \eta)^2}} &= \int_{-(y+\frac{L}{2})}^{-(y-\frac{L}{2})} \frac{d\tau}{\sqrt{\tau^2 + x^2}} = \ln \left| \tau + \sqrt{x^2 + \tau^2} \right| \Big|_{-(y+\frac{L}{2})}^{-(y-\frac{L}{2})} = \\ &= \ln \frac{\sqrt{x^2 + \left(y - \frac{L}{2}\right)^2} - \left(y - \frac{L}{2}\right)}{\sqrt{x^2 + \left(y + \frac{L}{2}\right)^2} - \left(y + \frac{L}{2}\right)} \\ U_- &= \frac{\rho I}{2\pi L} \ln \frac{\sqrt{(r_0 - x)^2 + \left(y - \frac{L}{2}\right)^2} - \left(y - \frac{L}{2}\right)}{\sqrt{(r_0 - x)^2 + \left(y + \frac{L}{2}\right)^2} - \left(y + \frac{L}{2}\right)}. (3) \end{aligned}$$

Потенциалът в точка М е равен на сумата от потенциалите U_- и U_+ и се определя по формулата:



Фиг.2

Потенциалът в точка М с координати x, y е равен:

- от линейния електрод А

$$U_+ = \frac{\rho I}{2\pi L} \ln \frac{\sqrt{x^2 + \left(y - \frac{L}{2}\right)^2} - \left(y - \frac{L}{2}\right)}{\sqrt{x^2 + \left(y + \frac{L}{2}\right)^2} - \left(y + \frac{L}{2}\right)};$$

$$U_M = U_+ + U_- = \frac{\rho I}{2\pi L} \ln \frac{\sqrt{x^2 + \left(y - \frac{L}{2}\right)^2} - \left(y - \frac{L}{2}\right)}{\sqrt{x^2 + \left(y + \frac{L}{2}\right)^2} - \left(y + \frac{L}{2}\right)} - \frac{\rho I}{2\pi \sqrt{(r_0 - x)^2 + y^2}}. \quad (5)$$

Заклучение.

Изведени са формули за определяне на потенциала на произволна точка разположена в земята, създаден от два разнополярни линейни източници на ток (формула 4) и разнополярни линеен и точковиден източници на ток (формула 5).

- от точковидния електрод В

$$U_- = \frac{\rho I}{2\pi \sqrt{(r_0 - x)^2 + y^2}}.$$

Резултатният потенциал е равен:

Литература

Ст. Стефанов, Т. Христова, Л. Атанасов „ Зависимост на плътността на ока създаден от разнополярни източници на ток във функция от разстоянието между тях и от дълбочината на разглежданата точка в земята”, МГУ, том 52, с.123-128.

Даревский А. И., Е. С. Кухаркин „Теоретические основы электротехники”, част II – „Основы теории электромагнитного поля”, изд. „Высшая школа”, Москва, 1965 г.

Ионкин П. А., А. И. Даревский, Е. С. Кухаркин, В. Г. Миронов, Н. А. Мельников „Теоретические основы электротехники”, том II, изд. „Высшая школа”, Москва, 1976 г.

Препоръчана за публикуване от
Катедра «Електротехника», МЕМФ

ЕЛЕМЕНТИ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНОТО ИЗЧИСЛЕНИЕ НА ВИХРОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛ С ВЪТРЕШЕН МАГНИТОПРОВОД

Константин Тричков

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

РЕЗЮМЕ. Установени са някои зависимости между размерите и електромагнитните параметри на вихров преобразувател с вътрешен магнитопровод. Последните имат важно значение за избора на оптимален вариант за проектирането, при зададен активен обем на работната камера и магнитната индукция.

ELEMENTS OF THE ELECTROMAGNETIC CALCULATION OF A VORTEX CONVERTER WITH AN INNER MAGNETIC CORE

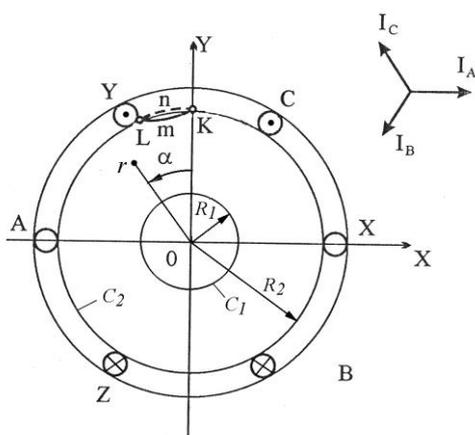
Konstantin Trichkov

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

ABSTRACT. Some relationships between the dimensions and the electromagnetic parameters of a vortex converter with an inner magnetic core is established. They are very important to pick out an optimal variant in the design under desired magnetic induction and active volume of the working chamber.

1. Въведение

Преди да се пристъпи към проектиране на вихровите преобразуватели е необходимо да се установят някои зависимости между размерите и електромагнитните й параметри. В процеса на проектирането често се налага да се измени някоя величина и трябва да се знае как това се отразява на останалите. На фиг.1 е показан схематично вихров преобразувател с вътрешен магнитопровод [1].



фиг.1

Стойността на магнитната индукция в активното пространство на работната камера се определя само от изискванията на технологичния процес, за който е предназначена машината. Модулът на основния хармоник на магнитната индукция е инвариант и се определя от израза:

$$B_1 = \frac{\mu\sqrt{2}k_{w1}A}{1 - \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{R_1}{r}\right)^4 - 2\left(\frac{R_1}{r}\right)^2 \cos 2\alpha}, \quad (1)$$

2. Елементи на електромагнитното изчисление

При проектиране на неявнополюсни вихрови преобразуватели с вътрешен магнитопровод [2] (при един и същ брой канали, вид на намотката и еднакво линейно токово натоварване), за да се запази стойността на полето в точките с еднакви относителни радиуси r/R_1 и с еднакви ъгли координати α е необходимо да бъде спазено условието $\frac{R_1}{R_2} = const$. Приемаме, че линейните размери се

изменят така, че индукцията да остане постоянна в стоманата на индуктора. Основно внимание трябва да се обърне на загубите в намотката, защото при вихровата машина, поради необходимостта от голям намагнитващ ток те са значително по-големи от загубите в стоманата. Електрическите загуби в каналната част на намотката са

$$P'_{en} = 2mwr'l^2 = 2mw\rho \frac{l'}{S'_n} l^2 = 2mw\rho l'j^2,$$

където w – брой навивки за един паралелен клон;
 r' – активно съпротивление на каналната част на намотката;
 l' – дължина на каналната част на намотката;

ρ – специфично съпротивление на материала на проводника;
 j – плътност на тока в проводника;
 $S'_n = n_{en} s_n a$ – еквивалентно сечение на проводника, за пълния ток I ;
 n_{en}, s_n – брой и сечение на елементарните проводници.

Специфичното топлинно натоварване на цилиндричната повърхност на индуктора, обусловено от електрическите загуби в намотката е

$$\rho_e = \frac{P'_{en}}{\pi D_2 I} = \frac{2mw \rho_e I' j}{\pi D_2 I} = \rho_e j A \quad (2)$$

В последната формула сме взели под внимание, че

$$A = \frac{2mw I'}{\pi D_2} \text{ и } \frac{I'}{I} \approx \text{const.}$$

Тъй като $A = \text{const.}$, ρ_e е пропорционално на плътността на тока. От ρ_e зависи прегряването на проводниците. Ето защо, при еднакви изолационни материали се приема, че $j = \text{const.}$ За дадени допустими топлинни натоварвания магнитната индукция определя A и j . Само при много дълги машини и същия начин на охлаждане е необходимо леко да се намали j .

Във вихровата машина $2mw I \equiv D_2$. Същевременно

$$2mw I = 2mw \frac{I}{S'_n} s'_n = 2mw j s'_n = j S_m,$$

където S_m е общото сечение на медта на намотката. Следователно $S_m \equiv D_2$, защото $j = \text{const.}$ При еднакви дебелини на изолацията на проводника и на канала и при еднакъв коефициент на запълване може да се приеме, че и общото сечение на каналите $S_x \equiv D_2$. При увеличаване на диаметъра k пъти, заедно със зъбното деление, поради изискването за постоянство на индукцията, се увеличава k пъти и широчината на зъба. Ако зъбът е с еднаква широчина по височината си, а каналът е трапецовиден, k пъти се увеличава и малката му основа. Тъй като $S_x \equiv D_2$, височината на канала се увеличава по-малко от k пъти, така че при по-голям диаметър той е относително по-плитък. В резултат на това, изработването на малки вихрови машини е затруднено, понеже каналите трябва да са прекалено дълбоки. Ако се вземе предвид, че при големите машини централната зона на канала се отдалечава от охлаждащата повърхност, поради което максималното прегряване на намотката се увеличава, става ясно, че при тях все пак трябва малко да се намали j , още повече, че има възможност да се увеличи дълбочината на каналите. Изводът е, че при увеличаване на диаметъра k пъти (при запазване на съотношението $\frac{R_1}{R_2}$), плътността на тока трябва да се намалява незначително, а увеличаването на

височината му да е малко под пропорционалното – $(0,8 \div 0,9)k$ пъти. По-големи отклонения от посочените, поради разликите в специфичното топлинно натоварване на цилиндричната повърхност на индуктора, водят до разлики в средното прегряване на машината.

При увеличаване на диаметъра k пъти, потокът в активния обем се увеличава също k пъти за единица дължина на индуктора. Затова се увеличава k пъти и височината на ярема. Външният диаметър се увеличава по-малко от k пъти, заради по-слабото увеличение на височината на канала.

За да се запази стойността на A , при увеличение на диаметъра k пъти трябва и производението $w I$ да се увеличи k пъти. При други равни условия, реактивните съпротивления са пропорционални на w^2 . Същото се отнася и за активното съпротивление, защото ако обемът на медта е постоянен, за да се увеличи w например n пъти, се намалява сечението на проводника n пъти. Тъй като и дължината на проводника се увеличава n пъти, активното съпротивление се увеличава n^2 пъти. Следователно

$$I \equiv \frac{U}{w}, \text{ където } U \text{ е захранващото напрежение. Тогава}$$

$$w I \equiv w \frac{U}{w^2} \equiv \frac{U}{w},$$

т.е. намалението на w не само увеличава тока, но и производението $w I$. При постоянно U , при нарастване на диаметъра k пъти, за да се увеличи $\frac{U}{w}$ също k пъти, трябва

да се намали броят на навивките k пъти. Всъщност желаното увеличение на $w I$ се постига с малко по-слабо намаление на w , заради понижаването на каналното разсейване (което също повишава тока), дължащо се на намалената относителна дълбочина на каналите. Може да се направи изводът, че при нарастване на диаметъра производението $w D_2$ леко се увеличава. Намаляването на w при нарастване на диаметъра води до намаляване на активното и на всички реактивни съпротивления, включително и главното. Както видяхме обаче, каналното разсейване се намалява в малко по-голяма степен, поради което се увеличава слабо отношението на е.д.н. към напрежението k_E . Това означава, че при неизменно напрежение основният хармоник на е.д.н. малко нараства. Очевидно, k_E нараства и при увеличаване на дължината на машината, защото делът на индуктивното съпротивление в челното разсейване намалява.

Да разгледаме геометрично подобни вихрови машини (подобие то е нарушено само за височината на зъбите и каналите, която нараства по-бавно). Изчислителната мощност, както при електрическите машини, е $P' = m E_i I$, защото и тук съществува електромагнитна индукция, а стойностите на основния хармоник на е.д.н. (а не на мрежовото напрежение) и на тока са свързани с всички главни размери и с големината на магнитната индукция в активния обем. Същевременно $E_i \equiv w B_{em} S_{em} j s'_n$, а $I = j s'_n$, където B_{em} е индукцията в едно сечение S_{em} на стоманата на индуктора. Следователно

$$P' \equiv wB_{cm} S_{cm} j s'_n .$$

Тъй като $S_m = w s'_n$ е общото сечение на медта на намотката, се получава:

$$P' \equiv B_{cm} j S_{cm} S_m .$$

Както установихме по-горе, $S_m \equiv D_2$, за разлика от обикновените променливотокови машини, където е пропорционално на квадрата на размерите на едно напречно сечение, а значи на D^2 . Затова при $j = const.$, $B_{cm} = const.$ се получава че

$$P' \equiv S_{cm} S_m \equiv D_2 I D_2 \equiv D_2^2 I ,$$

където: I е дължината на индуктора.

Обемът на вихров преобразувател с вътрешен магнитопровод е

$$V = \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2) l = \frac{\pi}{4} D_2^2 l \left[1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right] = k_\delta I D_2^2 , \quad (3)$$

$$\text{където: } k_\delta = \frac{\pi}{4} \left[1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right] = const, \text{ при } \frac{D_1}{D_2} = const .$$

Следователно изчислителната мощност на вихровата машина е пропорционална на активния обем на индуктора, т.е.

$$P' \equiv D_2^2 I \equiv V . \quad (4)$$

Ако се вземе предвид намаляването на относителната дълбочина на каналите, мощността се увеличава малко по-бързо от общия обем и от масата му. По същата причина загубите в стоманата, които са пропорционални на общия обем, нарастват малко по-бавно от мощността. Загубите в медта при постоянна плътност на тока са пропорционални на $S_m I$, т.е. на $D_2 I$. Следователно те нарастват значително по-бавно с увеличението на диаметъра.

Изследване на изменение на магнитната енергия W_μ в активния обем, при изменение на съотношението на радиусите R_1/R_2 .

Магнитната енергия в обем V е

$$W_\mu = \frac{1}{2} \int_V \vec{B} \vec{H} dV \quad (5)$$

За изотропна и хомогенна среда (въздух)

$$W_\mu = \frac{1}{2} \mu_0 \int_V H^2 dV . \quad (6)$$

След заместване и интегриране по r и α в полярна координатна система получаваме:

$$W_\mu = \frac{1}{2} \mu_0 \frac{2k_w^2 A^2}{\left(1 - \frac{R_1^2}{R_2^2}\right)^2} l \int_{R_1}^{R_2} r dr \int_0^{2\pi} \left(1 + \frac{R_1^4}{r^4} - 2 \frac{R_1^2}{r^2} \cos 2\alpha\right) d\alpha \quad (7)$$

Окончателно за W_μ получаваме:

$$W_\mu = \mu_0 \pi k_w^2 A^2 l R_2^2 \frac{1 + \frac{R_1^2}{R_2^2}}{1 - \frac{R_1^2}{R_2^2}} \quad (8)$$

Както трябваше да се очаква за $R_1/R_2 = const$ и линейно токово натоварване $A = const$, магнитната енергия е пропорционална на вътрешния обем на индуктора $\pi D_2^2 l$.

Участващият във формулата за W_μ магнитен интензитет е определен при пренебрегване на магнитното съпротивление на магнитопровода на индуктора. При това допускане магнитната енергия е монотонно растяща функция на R_1/R_2 , т.е. на $R_1 < R_2$. Извършеното изследване по метода на крайните елементи с помощта на програма FEMM, отчитаща нелинейното магнитно съпротивление на индуктора показва, че в действителност W_μ има максимум при големи стойности на R_1/R_2 . В таблица 1 са показани резултатите от изследването на магнитна система, състояща се от статор на асинхронна машина АО2 71-2, при поставяне на вътрешен магнитопровод с радиус R_1 .

Таблица 1.

W_μ	J	9,69	10,10	10,59	11,20	11,94	12,83	13,92
R_1	mm	22	26	30	34	38	42	46
R_1/R_2	-	0,244	0,289	0,333	0,378	0,422	0,467	0,511
W_μ	J	41,45	58,75	62,53	62,82	62,59	58,85	27,81
R_1	mm	75	80	81,5	82	82,5	84	88
R_1/R_2	-	0,833	0,889	0,906	0,911	0,917	0,933	0,978

Резултатите показват, че при $R_1/R_2 \approx 0,911$, за даденото линейно токово натоварване $A = 54113$ A/m, магнитната енергия е максимална и технологичният процес би протичал най-интензивно, ако индукторът е достатъчно голям, за да може да се обезпечи достатъчна дебелина R_1-R_2 на работния обем, осигуряваща нормална работа на феромагнитните работни частици. Въпреки това, при такава стойност на R_1/R_2 производителността би спаднала чувствително, поради твърде малкия работен обем. Ето защо не се достига максимумът на W_μ , а се използва областта, в която при нарастване на R_1/R_2 се съсредоточава все по-голяма енергия във все по-малък обем. Може да се изследва експериментално производителността на конкретен технологичен процес, извършван върху конкретен материал при $A=const$, $k_w=const$, $l=const$, $R_2=const$ и $R_1/R_2 = var$.

От получените данни се установява оптималната стойност на съотношението $R_1/R_2 = (R_1/R_2)_{opt}$, при което производителността за даден технологичен процес и обработваем материал е максимална.

3. Изводи

- Установени са някои зависимости между размерите и електромагнитните параметри на неявнополюсен вихров преобразувател с въртящо се магнитно поле. Извършено е минимизиране на загубите и е дефиниран оптималният диапазон на отношението на изчислителната дължина към диаметъра на електромагнитната система.
- С помощта на програмата FEMM, по метода на крайните елементи е изследвано изменението на магнитната енергия в активния обем на електромагнитната система при изменение на съотношението на радиусите R_1/R_2 . Резултатите показват, че при $A=const$, при нарастване на R_1/R_2 се съсредоточава по-голяма магнитна енергия в по-малък обем. Поради тази причина оптималната стойност на отношението R_1/R_2 трябва да се

определя в зависимост от изискванията, предявявани от конкретен технологичен процес.

Литература

- Тричков, К. Б. Магнитно поле на вихрова машина с вътрешен магнитопровод. Сп. "Електротехника и електроника", кн.3-4, С., 2009.
- Тричков, К.Б., К.Н.Костов. Магнитно поле на неявнополюсен електромеханичен преобразувател с въртящо се магнитно поле. Нац.конф. с межд.участие "Автоматизация в минната индустрия и металургията" "БУЛКАМК '08", С., 2008.

*Препоръчана за публикуване от
Редакционен съвет*

ИЗСЛЕДВАНЕ НА СХЕМА С ПОВИШЕНО БЪРЗОДЕЙСТВИЕ ЗА ЕЛЕКТРОМАГНИТНА СЕПАРАЦИЯ С ИМПУЛСНО МАГНИТНО ПОЛЕ

Ромео Александров, Константин Тричков

Минно-Геоложки Университет "Св. Иван Рилски" – София 1700, България

РЕЗЮМЕ. В настоящата статия се разглежда схема за повишаване бързодействието на процесите в електромагнитната система на сепаратор, управляван от тиристорен изправител. Създадени са симулационни модели на съществуващата и предложената схема. Дадени са сравнителни характеристики на изследваните схеми.

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS ON THE MOVEMENT OF MAGNETIC MATERIAL IN TRAVELLING MAGNETIC FIELD

Romeo Alexandrov, Konstantin Trichkov

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

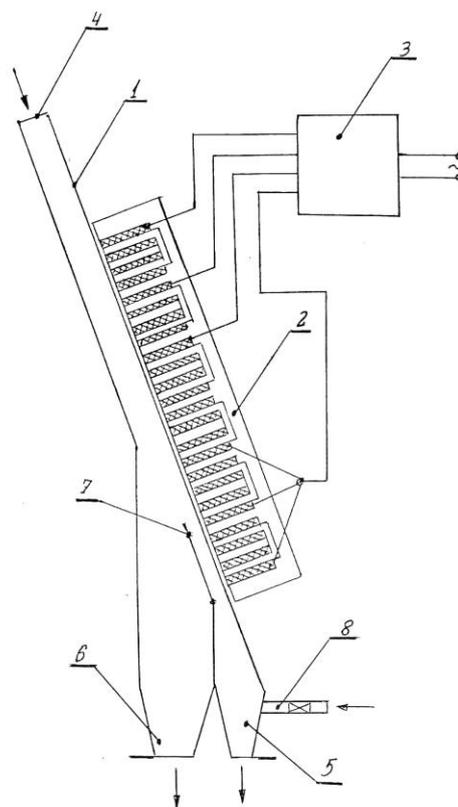
ABSTRACT. A circuit for increasing the processes speed in an electromagnetic system of a separator, controlled by a thyristor rectifier is considered. Simulative models of the existing and the proposed circuits are created. Comparative characteristics of the circuits investigated are given.

Въведение

Електромагнитният сепаратор показан на фиг. 1 намира приложение за мокро обогатяване на силно магнитни руди, за регенерация на феромагнитни суспензии и др. Той представлява компактно съоръжение в което няма активни движещи се части при обработката на материала. Състои се от вана изработена от немагнитен материал (1) и електромагнитна система - комплект от отделни електромагнити (2), свързани в групи и присъединени към електрическата схема (3), захранващ отвор за обработваната суспензия (4), кутия с регулируем отвор за разтоварване на магнитната фракция (5), кутия с регулируем отвор за разтоварване на немагнитната фракция (6), подвижен отсекател (7) и щуцер за подаване на промивна и отмивна вода (8). [1]

При експерименталните изследвания с електромагнитния сепаратор се включва електрическото захранване и в набора от електромагнити се създава импулсно – бягащо магнитно поле, което отклонява силно магнитните частици към стената на ваната, която е откъм страната на електромагнитна система и ги транспортира надолу, като преминават от горната страна на подвижния отсекател и се насочват към отвора за разтоварване на магнитната фракция. Немагнитните частици преминават под подвижния отсекател и се насочват към отвора за разтоварване на немагнитната фракция.

Електрическата схема е с възможност за създаване на импулсно – бягащо магнитно поле с постоянноточкови импулси, пулсиращи с различна продължителност и сила на магнитното поле в зависимост от магнитната възприемчивост на рудата и едрината на смилане.



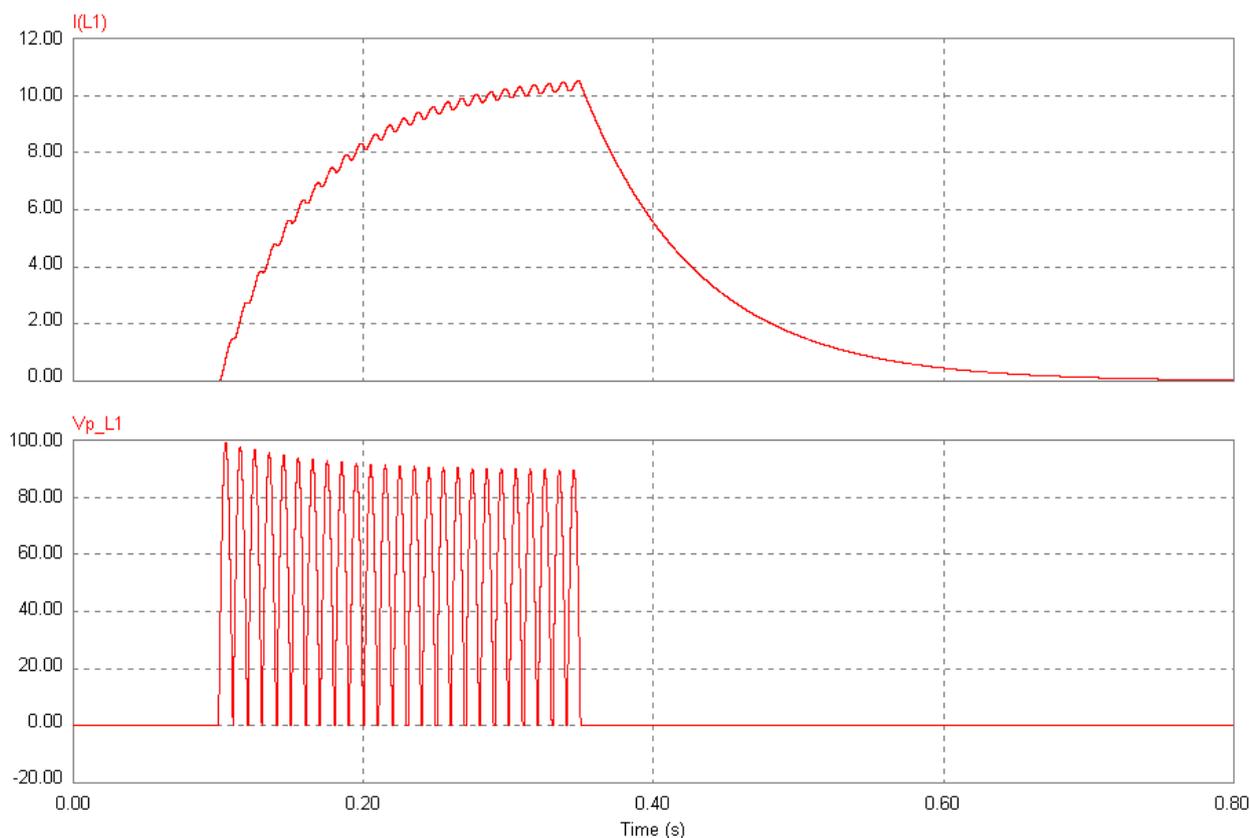
Фиг.1. Електромагнитен сепаратор за мокро обогатяване

Сравнителни характеристики на изследваните схеми

Първоначално при експерименталните изследвания в електрическата схема се използва диоден еднофазен мостов изправител. Той служи за създаване на постояннотокови импулси чрез включване и изключване на контакт в променливотоковата му страна.

За доставяне на необходимото напрежение за електромагнитна система състояща се от отделни електромагнити, свързани в групи се използва силов съгласуващ трансформатор. Вторичното му напрежение е 70 V, подходящо за достигане на установен ток около 10 A при даденото съпротивление на електромагнитите свързани в един от вариантите.

В процеса на работа по експерименталните изследвания се установиха някои недостатъци на използваната електрическа схема. Например, веднага се забеляза сравнително дълго време на задържане на магнитните частици от обработваната суспензия към полюсите на електромагнитите след изключване на контакта в променливотоковата страна на изправителя. За да се изяснят процесите по-нагледно схемата беше моделирана, а работата и симулирана по подходящ начин. Една група електромагнити е моделирана чрез заместваща схема от последователно свързани активно съпротивление и индуктивност, като стойностите им са взети чрез директно измерване от експерименталната постановка.



Фиг.2.

На фиг. 2 са показани две взаимно зависими графики, резултат от симулацията. Горната представлява тока в ампери през индуктивността на електромагнитите, а долната напрежението във волтове в краищата им. На фигурата се виждат процесите в схемата при включване в 0,1-та секунда и изключването в 0,35-та секунда от началото на симулацията. Времето за включено състояние е 250 мили секунди, което е от порядъка на времената използвани по технологични съображения в експерименталната постановка. При симулацията то е избрано с цел да се покаже достигането на установената стойност на тока, а също така максимално детайлно целият процес.

При включване токът нараства по експоненциален закон на изменение с насложени незначителни колебателни пулсации, породени от характера на изправеното напрежение. Относително бавното нарастване на тока,

сравнено с необходимите технологични времена за включване е съществен недостатък на тази схема. Това е така защото от времето за включено състояние, ефективното време за действие на магнитната сила действаща върху магнитните частици в работния обем на ваната е значително по-малко. Друг още по-значителен недостатък на схемата с диоден изправител е също бавното намаляване на тока при изключване, както беше споменато по-горе. За да се транспортират частиците към следващия електромагнит те трябва да бъдат отпуснати от предходния. Тъй като те се събират към стената на ваната близка до електромагнитната система отпускането им става при токове с много ниска стойност. В разгледаният случай в зависимост от разположението на частиците това става от 200 до 300 мили секунди след изключването на контакта. На графиката на тока (фиг. 2) се вижда, че за това време токът е намалал под 1 A т. е. под 10% от

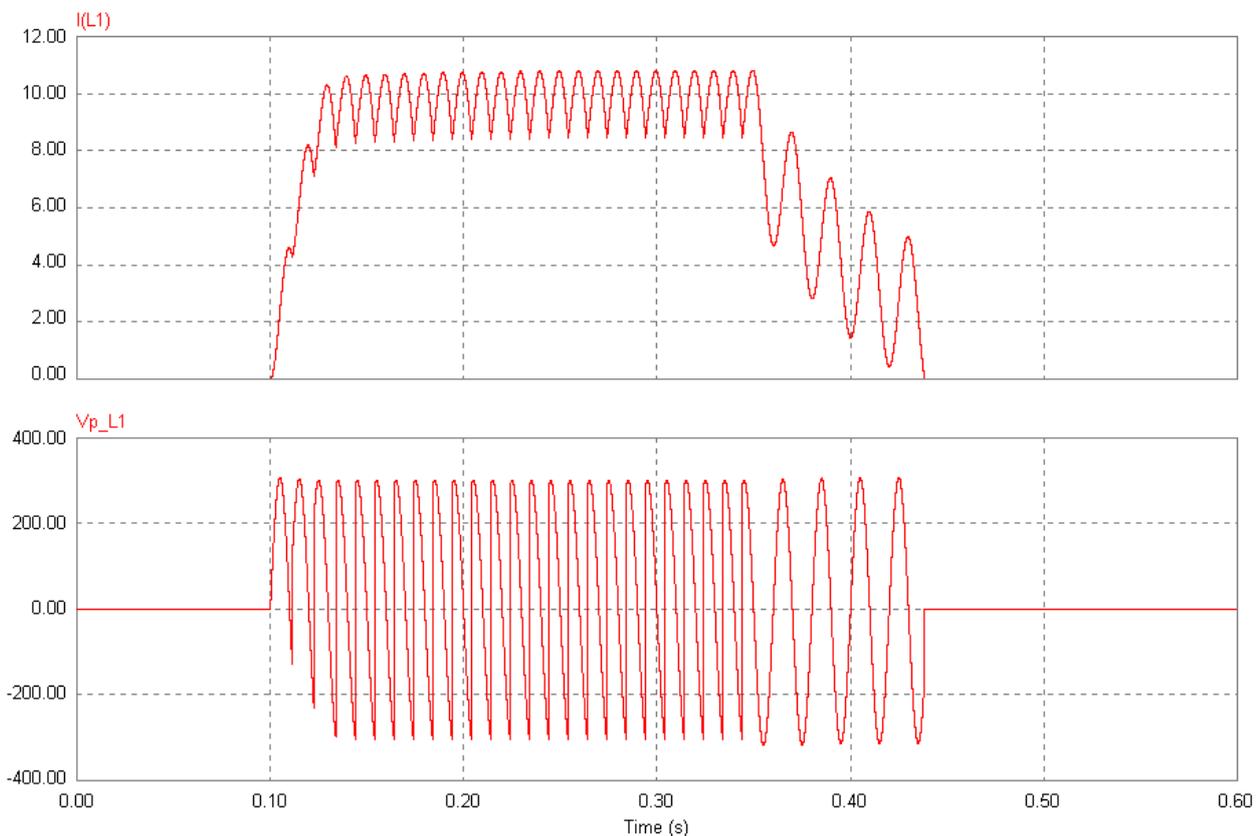
установената му стойност. Явлението за поддържане на тока през товара след изключване на изправителя в променливотоковата страна се дължи на запасената енергия в индуктивността и наличието на верига осигуряваща протичането му. Диодите на изправителя се явяват свързани в затворена верига с индуктивността на товара в права посока. Бързината на намаляването на тока зависи от разсейването на запасената в индуктивността енергия в активните съпротивления и полупроводникови елементи във веригата. Колкото е по-малка стойността на общото във веригата активно съпротивление, толкова по-бавно намалява тока. Изнасянето на контакта от променливотоковата страна в постояннотоковата страна на изправителя, особено ако не е направена подходяща верига гасяща енергията на индуктивността е неприемливо поради големите пренапрежения, които ще се появят в схемата и всички произтичащи от това вредни последици.

Освен това, при дадените условия на работа използването на механична контактна система за осъществяване на токови импулси с честота от порядъка на 1Hz не е подходящо за практически цели.

Алтернативата е включване и изключване чрез използване на силови полупроводникови елементи.

След направения преглед на недостатъците на съществуващата схема е поставена задача, да се предложи схема, която с цената на приемливи компромиси значително да подобри параметрите на токовия импулс и като цяло да се усъвършенстват възможностите на електромагнитния сепаратор.

Предложена е схема, в която на мястото на неуправляемия (диоден) изправител се използва регулируем еднофазен мостов изправител изпълнен с четири тиристора. Управляващото устройство, което определя параметрите на импулсната поредица тук играе ролята на разрешаващ сигнал за пускане и спиране на тиристорния изправител чрез системата му за импулсно-фазово управление. За разлика от първата схема тиристорният изправител е захранен директно от мрежовото напрежение без използване на силов съгласуващ трансформатор. По този начин неговото максимално изправено напрежение е значително по-голямо.



Фиг. 3.

Действието на схемата се изяснява с помощта на фиг.3, където са показани, както и в първата схема, графики, резултат от симулацията. Съответно тока в ампери през електромагнитите и напрежението във волтове в краищата им. Отново симулацията е направена при управляващ сигнал за включено състояние от 250 мили секунди. От 0,1-та до 0,35-та секунда. В първия момент при получаване на разрешаващ сигнал изправителят работи с ъгъл на управление $\alpha=0$ съответстващ на максимално напрежение на тиристорния изправител. Това е необходимо за намаляване времето за нарастване на токовия импулс.

След това ъгълът на управление α постепенно се увеличава до определена стойност, което води до намаляване средната стойност на изправеното напрежение с цел достигане на установен ток от 10 A. На графиките се виждат характерните за работата на тиристорен изправител с активно-индуктивен товар форми на тока - непрекъснат с пулсации и изправено напрежение с наличие на отрицателни моментни стойности. В 0,35-та секунда се подава сигнал за спиране на управляващите импулси към тиристорите на изправителя. Последните два тиристора участвали в работата на изправителя остават

отпушени, докато токът през тях не прекъсне. За разлика от диодния изправител тук във веригата на остатъчния ток е включен и източника на променливо напрежение. За това преходният процес се развива с дълбоки хармонични пулсации, които в крайна сметка довеждат до по скорошно достигане на нулева стойност на тока. От графиката отчитаме, че това става за около 100 мили секунди.

Заклучение

Въз основа на резултатите от симулационния анализ по отношение на съществуващата и предложената схема, а с това и по отношение ефективността на работа на електромагнитния сепаратор могат да се направят следните изводи:

Постигнато е съкращаване на времето за нарастване на токовия импулс с около пет пъти. В нерегулируемата диодна схема времето е приблизително 250 мили секунди срещу около 50 за тиристорната схема. Това довежда до по-пълно използване на времето на токовия импулс за движение на частиците в работния обем на електромагнитния сепаратор.

*Препоръчана за публикуване от
Редакционен съвет*

Приблизително три пъти е намалено времето за спадане на токовия импулс. Което беше друг още по-значителен недостатък на схемата с диоден изправител. Това спомага за по бързото транспортиране на магнитните частици.

Освен това предложената схема има още предимства:

С приложението на тиристорна схема включването и изключването става чрез използване на силови полупроводникови елементи.

За разлика от първата схема, тиристорният изправител е захранен директно от мрежовото напрежение без използване на силов съгласуващ трансформатор.

Може да се каже, че значително са подобрени параметрите на токовите импулси и като цяло са усъвършенствани възможностите на електромагнитния сепаратор.

Литература

Патент BG 64303 B1 2004.

Янакиев, К 1989, Електрообзавеждане на минните предприятия I част, София, 32-33 с.

ИНФОРМАЦИОННО ИЗМЕРВАТЕЛНА СИСТЕМА ЗА КОНТРОЛ И ОПЕРАТИВНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЕЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕТО В МГУ "СВ. ИВАН РИЛСКИ"

Иван Стоилов¹, Антон Трапов², Здравко Илиев¹, Диана Дечева¹, Кирил Джустров¹

¹ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, e-mail: ivan_stoilov@abv.bg

² ComSystems Ltd, 1000 София, e-mail: office@comsystems-bg.com

РЕЗЮМЕ: Изградена е информационно измервателна система за контрол и оперативно управление на електропотреблението в МГУ. Конфигурираната и в момента включва 6 измервателни точки, 2 локални станции, 2 работни станции и сървър. Осигурена е възможност за оторизиран отдалечен достъп до данните от произволен компютър, свързан към Internet. Възприетите принципи при изграждането на системата обезпечават безпроблемното и бъдещо разширение. В резултат от внедряване на системата се подобри информационната база в областта на административно-стопанската дейност в МГУ и се изгради среда за ефективно практическо обучение на студентите по въпроси, свързани с управление на електропотреблението, автоматизираното електрозадвижване и системите за събиране и обработка на данни.

INFORMATIONAL AND MEASURING SYSTEM FOR MONITORING AND OPERATIVE CONTROL OF THE ELECTRICITY CONSUMPTION IN UNIVERSITY OF MINING AND GEOLOGY ST. IVAN RILSKI

Ivan Stoilov¹, Anton Trapov², Zdravko Iliev¹, Diana Detcheva¹, Kiril Dzhustrov¹

¹ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: ivan_stoilov@abv.bg

² ComSystems Ltd, 1000 Sofia, e-mail: office@comsystems-bg.com

ABSTRACT Informational and measuring system for monitoring and operative control of the electricity consumption in University of Mining and Geology ST. Ivan Rilski has been built. At the moment, the configuration includes 6 measurement points, 2 local stations, 2 operational stations and a server. A possibility for authorized remote access to the data in an arbitrary computer, connected to Internet is provided. The principles adopted, at the construction of the system provide its troublefree future amplification. As a result of the introduction of the system in practice, the informational base in the area of the administrative and the economic activity in UMG has been improved and an environment has been built for effective practical tuition of the students in problems, related to the control of the electricity consumption, automated electric drive and the systems for collection and processing of data.

Състояние на проблема

Рационалното използване на електроенергията е проблем с изключителна важност в световен мащаб и е особено актуален за промишлените производства с висока енергоемкост, какъвто е минно-добивния отрасъл. Един от пътищата за решаването му е подобряване ефективността на електроенергийния мениджмънт чрез осигуряване на контрол и управление на разхода на електроенергия в реално време (Пачаманов, 2002). За целта се разработват, внедряват и въвеждат в експлоатация специализирани информационно-измервателни системи (Schneider Electric Industries, 2002, <http://www.incotex.bg>, <http://www.sigmadev.net>, <http://www.mps.bg>, Стоилов и колеktiv, 2003, 2004, 2008 г. и др.). Това поставя нови и отговорни задачи пред Висшите учебни заведения. Бъдещите енергетици, автоматичници и специалисти в областта на компютърните технологии трябва да са подготвени да разработват и ефективно да използват подобни системи. Те трябва да са запознати със съвременните технически и специализирани програмни средства. В условия максимално близки до реалното производство, трябва да придобият умения за анализ на

конкретно възникнали ситуации и вземане на съответни управленчески решения. Изпълнението на тази задача е немислима без осигуряване на необходимата инфраструктура за провеждане на ефективно практическо обучение. Отчитайки този факт, от фонд "Научни изследвания" бе утвърден проект за изграждане на работеща в реално време разпределена система за контрол и управление на електропотреблението на МГУ «Св. Иван Рилски».

Обхват и структура на системата

Осигуреното финансиране ограничи до шест броя на измервателните точки. Изборът на конкретното им местоположение се определи с отчитане на следните фактори:

- стремеж за ефективно използване на системата както за учебни цели, така и за подобряване на информационната база на МГУ, чрез дистанционен контрол на електроенергийните разходи;

- необходимост от подобряване на материалната база на съществуващи лаборатории в областта на електрозадвижването и електрообзавеждането;

- осигуряване на възможност за реализация на широк кръг разнообразни лабораторни упражнения, включени в учебните програми по различни дисциплини;

- пространствена разредоточеност, която да позволи изграждане на разпределена система, обхващаща различни методи за пренос на данни.

На база на извършения анализ бе взето решение четири от електромерите да бъдат монтирани в трафопоста, захранващ МГУ “Св. Иван Рилски” и в КПУ “Лабораторен блок”. По този начин се постигат две цели:

- по време на практическите занятия студентите работят с реални данни от действителни потребители;

- осигурява се информационната база за административно-стопанския аспект на използване на системата.

Останалите два електромера са разположени в лаборатории 508 и 105, намиращи се съответно в сградите на Лабораторен блок и Минно-електромеханичен факултет. Освен че се явяват гравивни елементи на системата, с тяхна помощ се реализират и специализирани упражнения в областта на използване на цифрови електромери и управление на електрозадвижванията.

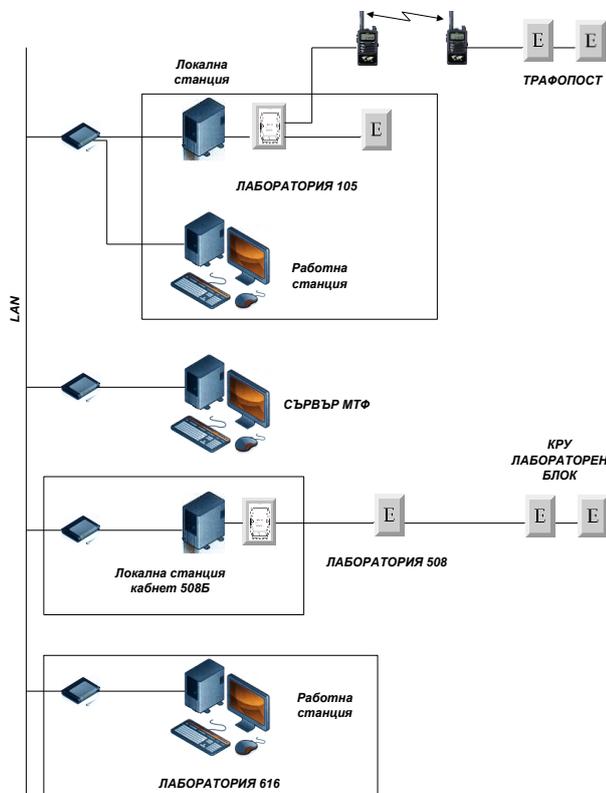
Всички монтирани електромери са трифазни цифрови, с клас на точност 0.5, модел EMPS T 412R, производство на фирма “Мултипроцесорни системи” ООД.

Информацията от електромерите се концентрира в две локални станции, разположени съответно в сградите на Лабораторния блок и Минно-електромеханичния факултет.

Предаването на информацията между електромерите, разположени в “Трафопост на МГУ” и Минно-електромеханичния факултет се осъществява по радиоканал с използване на радиомодеми. Връзката между останалите електромери, радиоприемника и локалните станции е осъществена чрез проводна линия – усукана двойка. Обменът на данни се извършва по интерфейс RS485. Свързването към локалните станции е осъществено чрез интерфейсни преобразуватели (RS485–USB), производство на ICP CON, представляващи модули за трансфер на данни между интерфейсите RS485 и USB с автоматична настройка на скоростта на обмен и формата на предаваните данни.

Структурата на системата включва още сървър и две работни станции. Предаването на информацията от локалните станции до сървъра на системата се осъществява през съществуващата вътрешноуниверситетска LAN мрежа.

На фигура 1 е представена структурата на системата и връзките между отделните електромери, измервателни точки и локални станции. Тя съответства на текущия етап на изграждане на системата, но трябва да се има предвид, че тя е от отворен тип. В бъдеще в нея могат да бъдат включени още измервателни точки и локални станции.



Фиг.1. Структура на системата

Функционални възможности на системата

Заложени в локалните станции:

- извличане на енергиите и мощностите от измервателните устройства;
- първична обработка на измерваните величини, чрез система от коефициенти за коригиране на точността и коректността на получените данни;
- филтриране на невалидните данни;
- усредняване на данните за зададен времеви интервал;
- предаване на данните към базата данни за съхранение и последваща обработка, чрез изградената комуникационна система.

Реализирани от сървъра:

- синхронизиране работата на локалните и работните станции;
- вторична обработка на данните получени от локалните компютърни станции;
- съхранение на резултатите в база данни в рамките на една календарна година;
- обслужване на потребителски заявки за справки и визуализации от оторизирани от клиента работни места в локалната компютърна мрежа;
- непрекъснат режим на работа в реално време;
- достъп до всички модули от системата през интернет връзка, при условие, че сървърната машина притежава реален IP адрес.

Свързани с администриране на системата:

- промяна на настройките и начинът на работа на сървърния софтуер;
- дефиниране, отстраняване и редактиране на включени в системата електромери и контролни точки;
- въвеждане и корекция на основни параметри, свързани с работата на системата като тарифни зони, данните за работни и почивни дни в рамките на една календарна година, планираното потребление на електрическа енергия и др.

Свързани с визуализацията на моментните измерени стойности:

- извеждане в табличен вид на показанията за определен параметър за всички електромери и контролни точки, включени в системата. Параметърът се задава чрез избор от менюта и определя дали се изисква визуализация на енергии или мощности, типа на енергията или мощността (активна, индуктивна, капацитивна, съответно за всяка от тях консумирана или върната), тарифната зона (върхова, дневна или нощна);
- извеждане на всички моментни данни за определен електромер или контролна точка в екранната форма, представена на фиг. 2;
- наличие на динамичен графичен работен плот, който потребителят лесно конфигурира по свое желание или в зависимост от поставената задача. На него могат да се визуализират: графични условни означения на обекти; моментна консумация на електроенергия, мощност и фактор на мощността в който и да е възел от измервателната система; достигнати критични стойности;

алармени предупредителни сигнали с няколко нива на сработване и др.

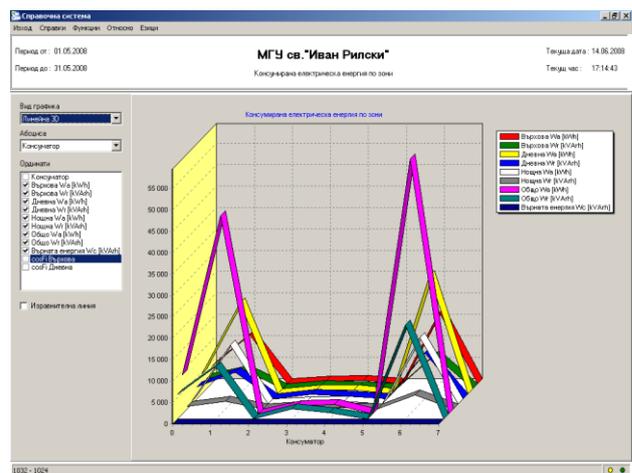
Електромер N5 - Трансформатор №3			
Изход			
Енергии			
	Върхова зона	Дневна зона	Нощна зона
A+	36891.360	59454.420	28170.060
Pi+	21500.220	39697.020	11134.260
Pc+	0.000	0.000	0.000
A-	0.000	0.000	0.000
Pi-	0.000	0.000	0.000
Pc-	0.000	0.000	0.000
Мощности			
	P+	Qi+	Qc+
	37.800	25.200	0.000
	P-	Qi-	Qc-
	0.000	0.000	0.000

Фиг. 2. Екранна форма за извеждане на моментни показания на електромер или контролна точка

Отнасящи се към справочната система

Конкретните справки представляват извадки за точно определени електромери и контролни точки представляващи интерес за потребителя. Справочната система е от тип "свободно редактиране". Всеки използвач системата може да създава справки със специфично съдържание. Веднъж създадена, справка автоматично се включва в менюто на поддържани справки от системата и може да бъде активирана от там, като данните включени в нея ще бъдат за зададен от потребителя период от време.

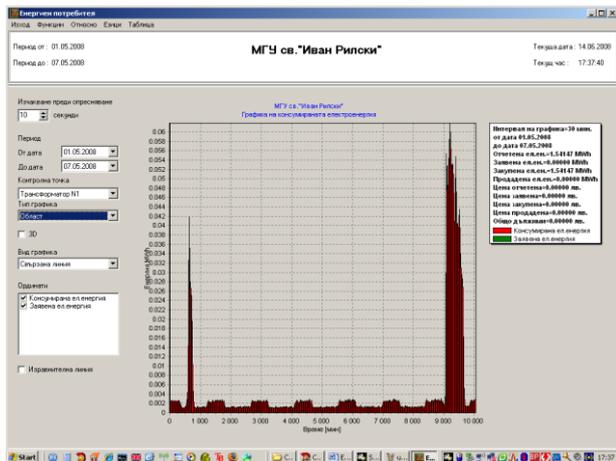
Всяка справка може да бъде отпечатана или експортирана във файл със стандартен формат за връзка с други продукти (Word, Excel и др.);



Фиг. 3. Графична интерпретация на справочната информация

Предвидена е възможност за графична интерпретация на справочната информация (фиг.3) и на консумацията на

електроенергия от даден консуматор или контролна точка за указан период от време (фиг. 4).



фиг. 4. Графично представяне на консумацията на електроенергия от даден консуматор или контролна точка

Използване на изградената система за образователни цели

Работа с електронни електромери

В лабораторията по “Електроснабдяване и електрообзавеждане” са изградени стендове, позволяващи практическо обучение на студентите по въпросите касаещи възможните начини за свързване на електронните електромери и случаите в които се използва всеки един от тях. Наред с това студентите реализират практически:

- директно отчитане на показанията на електронните електромери;
- извършване на пълна или частична параметризация;
- конфигуриране на енергийните и мощностните регистри;
- диалог за определяне на параметрите, включени в процедурата за събиране на статистическа информация;
- настройка на таблиците за тарифния контрол;
- задаване и промяна на нивата на сигурност при работа с електромера;
- работа в мониторен режим;
- изпълнение на форматни команди;
- прочитане на пълната информация, съхранена в паметта на електромера;
- определяне на възникналите събития и намеси в работата на електромерите.

С цел създаване на условия за самоподготовка и по-бързо навлизане на студентите в проблематиката, са разработени две ръководства за работа с електронни електромери от тип VEKTOR.

В първото се съдържа необходимата информация за пряко отчитане на извежданите на дисплея на електромера показания и системни данни. Второто се явява описание на организацията на програмен продукт UMPS, чрез който може да се осъществи пълно

управление на режима на работа на електронните електромери и извличане на информация от тях.

При разработване на учебните помагала е използвана техническа документация, предоставена от фирма “Мултипроцесорни системи”.

Един от стендовете в лабораторията по “Електроснабдяване и електрообзавеждане” е представен на фигура 5.

Изследване енергийните характеристики на обекти

Едно от приложенията на изградената система в учебния процес е свързано с използването на възможностите, които електронните електромери от серията VEKTOR предоставят за контрол на консумираната и връщаната в мрежата активна и реактивна енергия, изчисляването и визуализацията на фактора на мощността в реално време, снемането на товарови графици и др. Тези качества позволяват електромерите да се свържат към конкретен консуматор, характеристиките на който могат да се изследват в реално време. Така например в лабораторията по «Автоматизирано електрозадвижване» е обособен стенд за изследване на енергийните характеристики в различните режими на работа на асинхронните двигатели. За отчитане на фактора на мощността, консумираната мощност, напреженията и токовете в трите фази на статорната верига директно е включен електронен електромер. Чрез подходяща параметризация на екрана на дисплея му се визуализират основните показатели, които имат отношение към провежданите изследвания – консумирана или отдавана мощност (стойност и вид), фактор на мощността (по фази и общ), напрежения и токове във всяка фаза.

С цел повишаване на ефективността при отчитане на данните, електромерът е включен към персонален компютър с помощта на оптична глава. При провеждане на упражнението се използва програмният пакет на фирма “Мултипроцесорни системи” UMPS в режим “монитор”. Така се създава възможност студентите да наблюдават в реално време едновременно всички интересувачи ги параметри и да анализират настъпващите изменения при работа на двигателя в различни режими.

Използване на системата в курса по “Компютърно симулиране и проектиране”

Системата предоставя богати възможности за работа с реални данни при провеждане на множество упражнения, свързани със статистическа обработка на информацията.

Всеки електромер съхранява във вътрешната си памет профил (натрупани данни от измерване през определен интервал), който може да бъде изтеглен и съхранен на външен носител с цел последваща обработка. Такава възможност предоставят и работните станции чрез инсталирания върху тях софтуер, като допълнително при тях може да бъде зададен удобен за потребителя формат на запис на информацията.



Фиг.5 Общ вид на стенда

Дисциплината „Компютърно симулиране и проектиране“ се изучава от студентите в образователно-квалификационна степен „магистър“ на специалността „Автоматика, информационно и управляваща техника“. Въвеждането в експлоатация на информационно измервателната система за контрол на електропотреблението в МГУ „Св. Иван Рилски“, позволи в курса на обучение по тази дисциплина да бъдат включени следните групи задачи:

- определяне на времеви интервал, в който може да се прогнозира електропотреблението с грешка не по-голяма от зададена;

- структурен анализ на модела на база на реалните данни за електропотреблението за зададен период от време;

- оценка на модели от тип авторегресия, предназначени за прогнозиране на дневните и почасовите количества потребена електроенергия;

- оценка на модели от тип авторегресия с външен входен сигнал, при отчитане на деня от седмицата и часовата зона;

- изследване на прогнозиращите свойства на намерените модели, чрез сравнение с реални данни, измерени за периода на предсказание.

Работата с реални данни, извлечени от операторската станция на системата подобрява практическата насоченост на лабораторните упражнения и създава предпоставки студентите на място да видят и оценят резултата от изпълнение на задачата. По този начин се повиши интереса им, което е предпоставка за по-добро усвояване на учебния материал.

Заклучение

Разработката е реализирана чрез комплексното използване на съвременни подходи и средства за дистанционно измерване на електропотреблението, изграждане на компютърни мрежи, обмен на информация по проводна линия и радиоканал, защита на

информацията от неправомерен достъп, разработване на специализиран приложен софтуер и др.

Информационно измервателна система за контрол и оперативно управление на електропотреблението в МГУ „Св. Иван Рилски“ предоставя средства за извършване на мониторинг на електропотреблението в Университета и осигурява среда за ефективно практическо обучение на студентите в няколко различни направления: параметризиране и работа с електронни електромери, изграждане и управление на база данни, анализ и планиране на електропотреблението, отдалечен обмен на данни и др.

Литература

Пачаманов, А. Планиране, контрол и управление на енергопотреблението Изд. „Кин“, София, 2002

Стоилов, Ив., К. Джустров, М. Ментешев, А. Трапов. Система за измерване, контрол и управление на електропотреблението на обогатителна фабрика „Елаците“ на „Елаците мед“ АД. Годишник на МГУ, т.46 св. III, 2003.

Стоилов, Ив., К. Джустров, А. Трапов, М. Ментешев. Контрол и управление на разходите на електрическа енергия на привилегировани потребители на НЕК. Минно дело и геология, бр. 5, 2004.

Стоилов Ив., А. Трапов, К. Джустров, Д. Ташева, З. Илиев. Система за дистанционно измерване на консумацията на електрическа енергия в «Стомана Индъстри» АД, Енергиен форум, 2008.

Power Logic Systems, Schneider Electric Industries, France, 2002

<http://www.incotex.bg> Система 'INCOTEX PLC'

<http://www.sigmadev.net> Sigma Factor EMS

<http://www.mps.bg> Система за отдалечен достъп, наблюдение и управление на енергийни мрежи за ниско напрежение.

Препоръчана за публикуване от кат. «Автоматизация на минното производство», МЕМФ

МЕТОДИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА БЪРЗОДЕЙСТВИЕТО ПРИ РЕАЛИЗАЦИЯ НА ИЗЧИСЛИТЕЛНИТЕ ПРОЦЕДУРИ В СПЕЦИАЛИЗИРАНИТЕ УСТРОЙСТВА ЗА ИЗМЕРВАНЕ И КОНТРОЛ

Ясен Видолов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, e-mail: nre@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Разгледани са съвременните подходи за увеличаване на бързодействието при реализация на изчислителните процедури – използване на специализирани приложни схеми, строго специализирани микроконтролери, конвейерна и многопроцесорна обработка на информацията, системи за реално време отговарящи на събития. На база на извършения анализ е предложено разработване на система, базирана на събития, която предлага голям набор от прекъсвания и осигурява възможност за паралелното им обслужване.

METHODS FOR INCREASED CALCULATION PERFORMANCE IN SYSTEMS FOR MEASUREMENT AND CONTROL

Jasen Vidolov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: nre@abv.bg

ABSTRACT. Modern approaches are explored for increasing the speed when implementing mathematical procedures, using specialized integrated circuits, strictly specialized microcontrollers, pipelines and multithreaded information processing, real-time event response systems. On behalf of the analysis shown, an event driven system is proposed. It offers a wide range of interrupts and provides capability of their simultaneous service routine execution.

Въведение

Увеличаващите се темпове на развитие на технологиите и нуждата от по-точна информация предоставяна през по-малък интервал на дискретизация, поставят все по-големи изисквания за качество и бързодействие пред интелигентните измерителните устройства. Решаването на проблема с увеличаване на бързодействието се налага и от факта, че те са неизменен елемент, влизащ в структурата на големите информационно-измервателни и управляващи системи и в значителна степен определят качеството на функционирането им.

Пътищата за повишаване на бързодействието са два, които условно можем да определим като хардуерен и софтуерен. При софтуерните подходи се търсят методи за обработка на информацията, които са с подобрени характеристики по отношение на скоростта на реализация на обработващите процедури, като например използване на табулирани функции, математични модели, рекурентни зависимости и др.

При хардуерният подход, който е обект на настоящия анализ, висока скорост на обработка на информацията при интелигентните измерителни устройства се постига чрез различни решения, зависещи от архитектурата на използваната изчислителна техника. Тя определя структурната организация на изчислителното устройство

във вид на съвкупност от функционални модули, както и връзките между тях.

Методи за увеличаване на производителността на изчислителните устройства

Използване на CISC архитектури

Голяма част от микропроцесорните архитектури притежават съкратен набор команди (**Reduced Instruction Set Code – RISC**). Те се използват за малки по сложност математически и логически операции без необходимост от бързодействие. Когато времето за изпълнение на сложни команди е от значителна важност се прибегва до архитектури със сложен набор команди (**Complex Instruction Set Code – CISC**)[2]. При тях често използвани математически преобразования са имплементирани на хардуерно ниво, което ускорява тяхното изпълнение поради специфичната им реализация, съобразена с конкретните цели на приложение. Представители на архитектури със сложен набор команди са Цифровите Сигнални Процесори (DSP). Използването на CISC-архитектури позволява синтез на хардуерни решения, които осигуряват необходимата изчислителна точност и определена размерност на операндите, без да е

задължително тя да отговаря на размерността на машинната дума на процесора.

Например хардуерната имплементация на CORDIC-алгоритъма в микроконтролер ще опрости значително задача по моделиране на поведението на въртящо се магнитно поле, като предоставя възможност за последователното завъртане на вектор в полярна координатна система чрез предварително дефинирана стъпка. Без този алгоритъм, за изпълнението на задачата ще е необходимо използването на набор от тригонометрични функции, което ще отнемат относително голямо време за реализация.

От примера става ясно, че вграждането на специализирани функции е удачно при реализиране на задачи, които изискват честото им използване. Самозов този случай икономически е оправдано прилагането на CISC-архитектури.

Процесори за работа в реално време

Когато се говори за бърза реакция на управляващо устройство спрямо възникнали събития се прилагат процесори и операционни системи за обработка на информацията в реално време. При тях се поставя изискването за получаването на гарантиран отговор, не по-бавно от определено зададено времезакъснение [2]. За това при архитектурите с високи изисквания към бързодействието е важна детерминираността на времената за изпълнение на всяка една задача.

Когато е необходимо осигуряване на бърза реакция на изчислителното устройство на възникнали външни събития (например излизане на технологичен параметър извън зададени допустими граници), се използват процедури, прикачени към хардуерни прекъсвания. Тяхното бързо изпълнение зависи основно от два критерия – време за стартиране на обработката на прекъсването и времето за нейното изпълнение.

Времето за стартиране на обработката на прекъсването зависи от последната започната процесорна инструкция, като се изпълнява веднага след нейното завършване [3]. Това изчакване за завършване на започнатата инструкция е необходимо поради архитектурни ограничения, каквито са хардуерната липса на паралелни логически блокове, синхронизация на данните обуславяща се от атомарността на инструкциите, и др. При време-критичните процесорни архитектури намалено времезакъснение се постига чрез разделянето на бавните процесорни инструкции на последователност от няколко по-малки примитиви. Такъв е примерът с операцията “делене” при сигналният процесор ADSP2100 на Analog Devices, чиито делител-операнд представлява броят извикани инструкции DEVQ [4]. По този начин се съкращава максималното време за изпълнение на процесорните инструкции, което забавя в по-малка степен извикването на процедурата за обработката на прекъсванията.

При някои архитектури се прилага мултиплексиране на прекъсванията, когато разполагаме само с един вектор за тяхната обработка. Това допълнително забавя извикването на съответната обработваща процедура чрез условен код за определяне на конкретното възникнало прекъсване. Това може да се избегне чрез архитектурното

осигуряване на отделен вектор за всяко налично прекъсване.

Обикновено едни и същи процесорни регистри се използват както в програмата, така и при обработката на прекъсванията. Това налага временното преместване на съдържанието им в стека при възникване на прекъсване, използването им в обработващата го процедура, както и възстановяването на съдържанието на регистрите след завършването ѝ. Често за увеличаване скоростта на изпълнение на обработката на прекъсванията се предоставят дубликат регистри, като едните се използват в програмата, докато другите се ползват единствено в прекъсванията. Това спестява време по прехвърляне на контекста между програмата и възникналото прекъсване, което се изразява в съхранение съдържанието на процесорните регистри в стека. Такава възможност предоставя архитектурата ARM, в която са дефинирани 5 отделни стека (IRQ32, FIQ32, Abort32, Undef32 и SVC32). Недостатък е невъзможността за изпълнението на прекъсване по време на обработката на друго, без прехвърляне на регистрите през стека. Но този недостатък може да се избегне чрез осигуряването на отделен набор регистри към всяко прекъсване.

Методи за бърз достъп до функции

Извикването на функция често е съпроводено със загуба на време поради необходимостта по прехвърляне на данни от извикващата към виканата функция. Двете функции разменят информация помежду си с помощта на стек, където се записват стойностите на аргументите, точката на възвръщане на управлението и резултатът на изпълнената функция.

Една от възможностите за редуциране на това времезакъснение се реализира с предаване на данните посредством регистри, като се премахне нуждата от запис и извличане на данни от стека. Ограничение на този метод е невъзможността на употребата на рекурсия, понеже функциите трябва да комуникират само с глобални статични променливи, т.е. да са реентрантни.

Друга възможност е снабдяването на процесора с допълнителни регистри, които да приемат стойностите на върха на стека. Така употребата на стек се запазва, и извикването на функция се осъществява за един процесорен такт. Този подход е реализиран в процесорите SPARC на Sun Microsystems [13].

Всички разгледани методи могат да се реализират чрез архитектурни процесорни подобрения, при които за сметка на увеличеното количество регистри се постига по-голямо бързодействие на изпълнение на програмата.

Оптимизация на времезакъсненията в специализираните схеми

По-бърз подход би могъл да е изпълнение на хардуерно реализирана специализирана схема (ASIC). Тя може да бъде напълно оптимизирана за изпълнението на конкретна задача. Програмируемите логики предлагат именно такава хардуерна платформа, позволяваща гъвкава разработка на схеми с разнообразно предназначение. Те позволяват

изграждането и на паралелни програмни структури. При подобна разработка се взимат предвид времезакъсненията на всички участващи в изчисленията тригери и комбинационни схеми, които по време на проектиране биха могли да се оптимизират допълнително чрез разпределяне и групиране на хардуерните изграждащи блокове на физически местоположения вътре в самата интегрална схема, така че времезакъсненията на сигналите формиращи общи данни да се сведат до минимум чрез промяна на дължината на междублоковите връзки. Чрез тези подходи се постига намаляване на критичният път в системата и свеждането му до стойности, задоволяващи заданието на конкретната поставена задача.

Паралелизъм

Постигането на паралелност е възможно в няколко направления – конвейерна обработка на командите, векторен паралелизъм и многопроцесорна платформа. Изразява се чрез едновременната обработка на няколко части на програмата.

Трябва да се отбележи, че бързодействието не е правопрпорционално на броя използвани паралелни процесори поради необходимостта от допълнителна синхронизация помежду им при използването на общи ресурси. Обезпеченият брой процесори характеризират *мащабируемата* паралелна система, при която производителността нараства пропорционално с увеличаване на броя процесори.

Конвейерен паралелизъм

Конвейерната обработка на инструкциите принадлежи към паралелизъм на ниво инструкции. Тя представлява разделяне на подлежащата за изпълнение базова функция на подфункции и изпълнението им от отделни апаратни блокове. За всеки момент от време всеки апаратен блок е ангажиран с изпълнението на определена подфункция, в което се изразява и паралелизмът [1]. Максималната скорост за изпълнение на подфункциите съответства на скоростта за изпълнение на най-бавната от тях. За прилагане на конвейерна обработка е необходимо изчислението на базовата функция да е еквивалентно на последователността от изчисленията на подфункциите; величините явяващи се входни за дадена подфункция да се явяват изходни за предходната подфункция; действията, реализирани от тези апаратни блокове да отнемат приблизително едно и също време за изчисление.

Конвейерната обработка може да се прилага независимо от останалите методи за увеличаване на производителността на изчислителните устройства. Тя е удобна за реализация, когато имаме повтаряемост и детерминираност на последователни операции, които могат да се разделят на подоперации с близки времена на изпълнение. Детерминираността се обуславя от липсата на условни преходи, които затрудняват разделянето на програмният поток на порции за обработка чрез конвейера.

Паралелизъм на достъпа до паметта

Обикновено изпълнението на една инструкция се свежда до операция, приложена върху два операнда. За бързото ѝ изпълнение е необходимо едновременното прочитане на

инструкцията и операндите от паметта. Това налага използването на Харвард-архитектура, при която програмната памет е независима и отделена от паметта за данни, като всяка е снабдена със собствен набор от адресна шина и шина за данни [5]. Възможно е реализирането на система, снабдена с няколко паметти за данни. Това ще повиши потока на данни към изчислителния блок и ще позволи реализацията на SIMD-архитектури. Неудобство представлява необходимостта от специално разделяне и форматиране на данните във всеки един блок памет.

Недостатък на такъв вид раздробяване на паметта на хардуерно независими блкове се изразява в ограничението на достъпа до дадена памет в даден момент от време.

Харвард-архитектурата е удобна за прилагане при паралелни независими помежду си изчисления, поради физически разделеният достъп до модулите памет.

Суперскаларна паралелност

Някои процесори могат да изпълняват по две или повече инструкции едновременно - такива са суперскаларните процесори. Подобно изпълнение е възможно само ако не съществува връзка между данните с които оперират паралелните инструкции. Те са удобни за изчисления на програмни цикли, работа с масиви и матрици от данни. Представител на паралелно изчисление на ниво данни е векторният процесор. Той изпълнява една инструкция върху множество еднотипни данни.

Такъв вид обработка често се използва при необходимостта от презчисляване на координатите на множество точки от една координатна система в друга (например от полярни в декартови координати и обратно или барицентрична ↔ декартова координатна система).

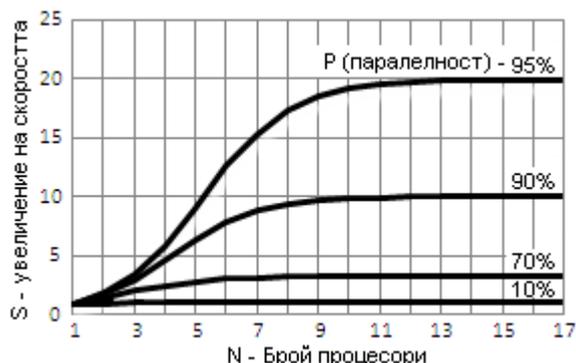
Многопроцесорни архитектури

Голяма част от съвременните специализирани процесори притежават междупроцесорна комуникация (Interprocessor communications) чрез външно изведена шина за данни и синхронизация, което позволява изграждането на многопроцесорни архитектури от еднотипни модули. Този подход за увеличаване на бързодействието на обработката на информация се прилага когато разполагаме с поток от данни, взаимно свързани помежду си. Такива възможности за разширяване притежават TMS320C40 на Texas Instruments [7] и ADSP21060 на Analog Devices [8]. Многопроцесорните и многоядрени компютри се състоят от множество изчислителни клетки, поместени в една машина. Когато процесорите са еднотипни се говори за симетрични многопроцесорни системи. Постигането на по-голяма производителност в зависимост от броя ядра или процесори се изразява чрез закона на Амдал (Amdahl's Law)[12]:

$$S = \frac{1}{(1 - P) + \frac{P}{N}}, \quad (1)$$

където 'P' е тази част от програмата, която може да бъде подложена на паралелна обработка,

'(1 - P)' е частта, неподлежаща на разпаралелване,
 N е броят процесори, които извършват паралелната работа,
 S – максимално увеличение на скоростта, което може да бъде постигнато с N-процесора



Фиг. 1. Зависимост на скоростта от броя процесори

Теоретично при $N \rightarrow \infty$ максималното увеличение на скоростта ще клони към $1/(1-p)$. Отношението увеличена производителност спрямо цената на процесорен модул намалява спрямо броя използвани процесори, което означава че внедряването им е изгодно само до определен брой (фиг. 1).

Клъстерите и мрежовите (grid) компютри използват няколко машини, свързани в мрежа. При тях паралелността на информацията се изразява в разпределяне на данните между няколко изчислителни единици, работещи едновременно.

Многоядрените, многопроцесорните, клъстерните и мрежовите изчисления прилагат паралелност на ниво задачи. Паралелизъм на ниво задачи се определя като едновременно изпълнение на набор от различни изчисления. За реализацията му се дефинира понятието нишка (thread), което представява един набор от последователност от инструкции. Отделните нишки могат да боравят с общи (shared) или различни (distributed) данни. При първият вариант е необходим механизъм за синхронизация на достъпа до данните, което внася допълнителни времеви загуби в производителността на изчислителното устройство.

За софтуерното обслужване на паралелно изпълнение на задачи се използва предимно стандарта POSIX [9]. За многопроцесорно програмиране намира широко приложение комуникацията чрез съобщения (Message Passing Interface - MPI), които работят чрез FIFO структура за данни [10].

През 2009 г. бе създаден първият отворен стандарт за паралелен език с общо предназначение - OpenCL. Разработен от Кронос Група (Khronos Group), състояща се от водещи индустриални производители [11]. Той

предоставя унифициран подход за изграждане на паралелни програми за микроконтролери, настолни компютри, както и многопроцесорни и разпределени системи и др.

Заклучение

Всеки един от разгледаните методи за увеличаване на бързодействието на изчислителните машини може да бъде приложен за по-добра производителност. Удачна ще бъде разработката на система, базирана на събития, която да предлага голям набор от прекъсвания, обслужващи тези събития. Прекъсванията могат да работят в паралел чрез използване на методи за изграждане на паралелна обработка на данните. Производителността ще се повиши при редуциране на споделените ресурси за сметка на разпределените такива.

Литература

- ADSP21xx, Programming Model, secondary registers, http://student.agh.edu.pl/~pmrosz/Motka/programming_model.pdf
- ADSP-2100 Family DSP Microcomputers, http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADSP-2101_2103_2105_2115.pdf
- ADSP-2106x SHARC DSP Microcomputer Family, A multiprocessing system, Analog Devices, <http://datasheet.digchip.com/041/041-4-000688-ADSP21060.pdf>
- Barney B., L.Livermore, POSIX Threads Programming, National Laboratory, <https://computing.llnl.gov/tutorials/pthreads/>
- Barney B., L.Livermore, Message Passing Interface (MPI), <https://computing.llnl.gov/tutorials/mpl/>
- Gambier A., Real-time Control Systems: A Tutorial, <http://ascc2004.ee.mu.oz.au/proceedings/papers/P150.pdf>
- Introduction to DSP - DSP processors: memory architectures, http://www.bores.com/courses/intro/chips/6_mem.htm
- Khronos Group, OpenCL - The open standard for parallel programming of heterogeneous systems, <http://www.khronos.org/opencl/>
- Larson K., J. Patterson 1993, Designing with TMS320C40 Comm Ports, Digital Signal Processing Products, Semiconductor Group, Texas Instruments, <http://focus.ti.com.cn/cn/lit/an/spra213/spra213.pdf>
- National Instruments Corporation, Real-Time Event Response, <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3938>
- Prabhu G. M., Computer architecture tutorial, <http://www.cs.iastate.edu/~prabhu/Tutorial/title.html>
- Shi Y., Reevaluating Amdahl's Law and Gustafson's Law, <http://www.cis.temple.edu/~shi/docs/amdahl/amdahl.html>
- SPARC, an extreme windowed RISC (Part II), <http://www.cpushack.com/CPU/cpu4.html>

Препоръчана за публикуване от кат. «Автоматизация на минното производство», МЕМФ

NANOCUBE.ORG – САЙТ ЗА НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОЕЛЕКТРОНИКА

Мила Илиева

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, milailieva@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Електрониката е част от програмата на техническите учебни заведения. Преподава се различно: като част от физиката, като общообразователен предмет и като технология. Последна тенденция е преподаването да се влияе от разработки в широката област Дизайн и технология. Като други физически науки така и електрониката страда от недостиг на преподаватели и от схващането, че е трудно. Затова е необходимо да се разработи стратегия за преподаване на електроника, чиято тактика включва: Създаване на обширен уебсайт за подпомагане на преподаватели и обучавани. Сайтът nanocube.org предоставя специализирана услуга за онлайн симулации. Поддържаната информация е достъпна безплатно. Съдържанието се доставя от организацията, която хоства nanocube.org и от увеличаващия се брой потребители.

NANOCUBE.ORG –WEBSITE FOR NANOTECHNOLOGY AND NANO ELECTRONICS

Mila Ilieva

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, milailieva@abv.bg

ABSTRACT. Electronics is a part of the technical universities curriculum. It is taught variously under the auspices of Physics, General Science and Technology. Last tendency is, that the taught is influenced by developments in the bright area Design and Technology. Like other physical sciences so electronics suffers from a lack of teachers and the perception that it is hard. So it is necessary to be developed a electronics taught strategy. The employed tactics may include: development of an extensive website of support for both teachers of electronics and their pupils. Nanocube.org provides specialized service for online simulations. The supported information is available free of charge. The content is provided from the organization, which hosts nanocube.org and from the increasing number of users.

Въведение

Електрониката е част от програмата на техническите учебни заведения. Преподава се различно: като част от физиката, като общообразователен предмет и като технология. Последна тенденция е преподаването да се влияе от разработки в широката област Дизайн и технология.

Целта е:

1. Да се провокира креативността;
2. Да се използват нестандартни подходи за моделиране;
3. Да се стимулират инициативи като Млад дизайнер.

Както други физически науки така и електрониката страда от недостиг на преподаватели и от схващането, че е трудно. Затова е необходимо да се разработи стратегия за преподаване на електроника, чиято тактика включва:

1. Разработване на програма;
2. Създаване на обширен уебсайт за подпомагане на преподаватели и обучавани;
3. Изграждане на регионални стратегически центрове за поддържане на локални инициативи, които да подкрепят преподаването и изучаването на електроника;
4. Разработване на компютърно базирани ресурси за обучение, включващи:
 - a. CAD и CAM системи;

- b. Симулации;
- c. Микроконтролери и комуникационни технологии.

Показател за измерване на ефективността може да бъде: Реализацията на електроника с добро качество.

Една перспективна област от електрониката са нанотехнологиите. Те включват:

1. Нано- и молекулярна електроника;
2. Вери и архитектури;
3. Наномагнетизъм и спин-троника;
4. Нанооптика, нанооптоелектроника, нанофотоника;
5. Нанороботика и наномонтаж;
6. Наносензори, наногенератори, нанодвигатели;
7. Наномеханика, наноелектромеханични системи;
8. Нанобиотехнологии, нанобиомедицина;
9. Нанопроизводство, нанолитография;
10. Нанометрология;
11. Изчислителни нанотехнологии.

Затова е необходимо да се обърне по-специално внимание на наноелектрониката и създаването на уебсайт за подпомагане на преподаватели и обучавани.

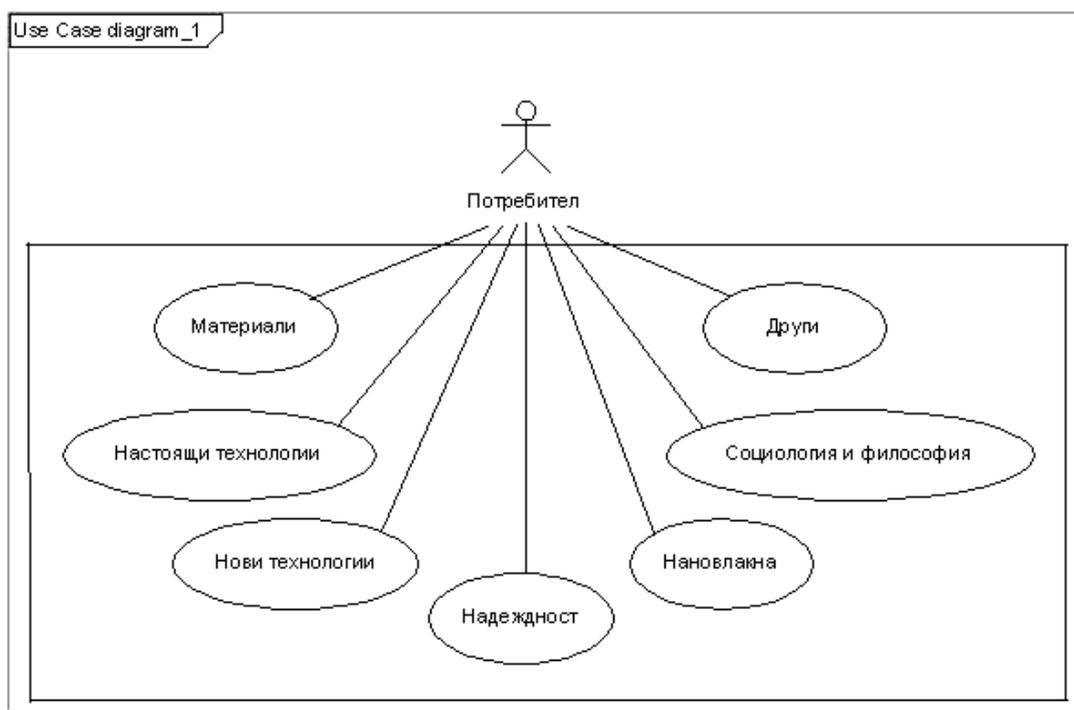
Сайтът nanocube.org предоставя специализирана услуга за онлайн симулации. Поддържаната информация е достъпна безплатно. Съдържанието се доставя от организацията, която хоства nanocube.org и от

увеличаващия се брой потребители. Сайтът съдържа съвременна системи за управление на съдържанието, която ангажира потребителската общност чрез процес на автоматично доставяне. Потребителските рейтинги повлияват подреждането на съдържанието. А това определя подреждането в търсачките на nanopcube.org и в списъците на отделните категории. Сайтът дава възможност и някои потребители да печелят от «лични колекции» или «тематични страници», които агрегират съдържание от nanopcube.org за специфични аудитории.

Първоначално сайтът може да съдържа следните категории:

1. Материали за наноелектроника:
 - a. Графен и неговите свойства, (Bataar, 2008)
 - b. Получаване на графен при отлагане чрез химическо изпаряване (Da Arco et al., 2009)
2. Прилагане на настоящи технологии в наноелектрониката:
 - a. Интегриране на силиций с електронна и дупчеста проводимост (Hudiat and Chau, 2008)
 - b. Получаване на силиций за нанотехнологии. Технология за получаване на силиций, ецван с плазма (Vogomolov, 2008)
3. Изследвания за нови технологии:
 - a. Актуални проблеми на конструирането на електронни устройства
 - b. Принципи за моделиране (Zhanyu Ning; Hong Guo, 2008)
 - c. Изследвания за следващо поколение логически схеми (Sung, 2008)
 - d. Автоматизация в наноелектрониката и нанофотониката (Bimberg, 2008)

- e. Вериги и системи
4. Надеждност в наноелектрониката:
 - a. Устойчивост на дефекти, базирана на ниво транзистор (El-Maleh et al., 2008)
 - b. Устойчив на повреди PPA (Wenjing and Orailoglu, 2008)
5. Нановлакна
 - a. Общи сведения (Ferry, 2008)
 - b. Израстване на нановлакна (Goel and Masunov, 2009)
6. Социология и философия
 - a. Основа на информирането на обществото (Vogomolov, 2008)
 - b. Теория на континуума за аморфни въглеродни структури (Umantsev and Akkerman, 2008)
 - c. Нанотехнологии – силата на малкото (Schwalke, 2008)
7. Други
 - a. Цифрови вериги;
 - b. Аналогови вериги;
 - c. CMOS вериги;
 - d. Идентификация с радиочестота;
 - e. Тестване на вериги;
 - f. Обработка на данни;
 - g. Обработка на сигнали;
 - h. Дизайн на ниво система;
 - i. Симулация на мрежа върху чип;
 - j. Микрофлуидика;
 - k. Фотоника;
 - l. Сензори;
 - m. Микроелектромеханични системи (MEMS);
 - n. Биомедицински устройства;
 - o. Оптични комуникации.



Фиг. 1: Уеб сайт Nanocube.org

Заклучение

Разработването на сайт за нанотехнологии и наноелектроника ще подпомогне преподавателите и обучаваните в усвояването на ново съдържание, ще провокира креативността, ще стимулира инициативността и ще постави основите на нов подход «Дизайн и технологии».

Литература

- Vaatar, C. 2008. Promises of Graphene Nanoelectronics. *NANO '08. 8th IEEE Conference on Nanotechnology*. p. 190
- Bimberg, D. 2008. **Quantum dot based nanophotonics and nanoelectronics**. *Electronics Letters* Volume 44 Issue 3 p. 168-171
- Bogomolov, B.K. 2008. **Development silicon of nanotechnology and technology of plasma etching silicon**. 9th International Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering, 2008. APEIE 2008. Volume 01 p.182
- Bogomolov, B.K. 2008. **Nanoelectronics and nanotechnology — Basis of information of a society**. Third International Forum on Strategic Technologies, 2008. IFOST 2008. p. 264-265
- De Arco, L.G.; Yi Zhang; Kumar, A.; Chongwu Zhou. 2009. **Synthesis, Transfer, and Devices of Single- and Few-Layer Graphene by Chemical Vapor Deposition**. *IEEE Transactions on Nanotechnology* Volume 8 Issue 2 p. 135 – 138
- El-Maleh, A.H.; Al-Hashimi, B.M.; Melouki, A. 2008. **Transistor-level based defect tolerance for reliable nanoelectronics**. IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications, 2008. AICCSA 2008. p. 53-60
- Ferry, D.K.; Gilbert, M.J.; Akis, R. 2008. **Some Considerations on Nanowires in Nanoelectronics**. *IEEE Transactions on Electron Devices*, Volume 55, Issue 11. p. 2820-2826
- Goel, S.; Masunov, A.E. 2009. **Modeling of Selective Carbon Nanotubes Growth for Non-classical Memory Applications**, **Third International Conference on Quantum, Nano and Micro Technologies**, 2009. ICQNM '09. p. 162-166
- Hudait, M.K.; Chau, R. 2008. **Integrating III-V on Silicon for Future Nanoelectronics**. *IEEE Compound Semiconductor Integrated Circuits Symposium*, 2008. CSICS '08. p. 1-2
- Schwalke, U. 2008, **Nanotechnology :The power of small**, 2nd International Conference on Signals, Circuits and Systems, 2008. SCS 2008.
- Sung, C.Y. 2008. **Post CMOS Nanoelectronics Research for the Next Generation Logic Switches**. *International Symposium on VLSI Technology, Systems and Applications*, 2008. VLSI-TSA 2008. p. 68-69
- Umantsev, A.; Akkerman, Z. 2008. **Continuum Theory of Amorphous Carbon Nanostructures**, *IEEE Sensors Journal*, Volume 8, Issue 6, p.1041-1046
- Wenjing Rao; Orailoglu, A. 2008. **Towards fault tolerant parallel prefix adders in nanoelectronic systems**. *Design, Automation and Test in Europe*, 2008. DATE '08. p. 360-365
- Zhanyu Ning; Hong Guo. 2008. **Principles Package for Nanoelectronics Modeling**, 22nd International Symposium on High Performance Computing Systems and Applications. HPCS 2008. p. 16.

Препоръчана за публикуване
от кат. „Електротехника”, МЕМФ

ИЗХОДНИ ЗАВИСИМОСТИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НАДЕЖНОСТТА НА КОМУНИКАЦИОННА СИСТЕМА

Добрин Диков¹, Васил Ангелов²

¹Институт по отбрана МО, София

²Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. В статията се прилага математически модел за описание на надеждността на комуникационна система.

INITIAL RELATIONS FOR DETERMINATION OF COMMUNICATION SYSTEM RELIABILITY

Dobrin Dikov¹, Vasil Angelov²

¹Defence Institut, MD, Sofia

²University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia

ABSTRACT: In the paper a mathematical model for description of communication system reliability is presented.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

В настоящата работа на базата на известни математически методи [1] - [5] се прави оценка на надеждността на комуникационна система със случаен период на обслужване.

2. ИЗХОДНИ ЗАВИСИМОСТИ ЗА РАЗЧЕТ НАДЕЖНОСТТА НА СИСТЕМА СЪС СЛУЧАЕН ПЕРИОД НА ОБСЛУЖВАНЕ

Нека комуникационната система се състои от N елемента, обединени от някакво структурно построение. Ще предполагаме, че в процеса на експлоатация могат да се контролират само част от елементите и че времето за безотказна работа на всеки от елементите е експоненциално разпределено с плътност,

$$f_i(t) = \lambda_i e^{-\lambda_i t}.$$

На всяко възможно състояние на системата съответства собствена интензивност на възстановяване на работоспособността на елемента μ_i , която се пресмята при предположение, че времето за възстановяване на елемента е подчинено на експоненциалния закон. При отказ на контролиран елемент се вземат мерки за възстановяване работоспособността му, както и мерки по проверка изправността на някаква съвкупност неконтролирани елементи и възстановяване работоспособността им при наличие на отказ. При тези предположения ще определим показателите на надеждност на системата.

Най-напред ще определим вероятността $P(\tau_p)$ за безотказна работа на системата. Както при необслужвани системи се определя, че

$$P(\tau_p) = \sum_{i=1}^{N_p} P_i(\tau_p), \quad (1)$$

където $P_i(\tau_p)$ е вероятността в момент τ_p системата да премине в състояние $x_i \in R$, без да е попадала в състояние $x_j \in Q$.

Спецификата на организацията на експлоатацията на такива системи изисква при изследване надеждността им да се прилага моделът, основан на диференциални уравнения, аналогични на тези при необслужвани системи. Въз основа на диаграмата на преходите се получава линеен граф за определяне надеждността на системата. При съставянето на диаграмата и графа се отчита очевидното условие, че при преход на системата в едно от състоянията на множеството Q , възстановяването на работоспособността не води до изпълнение на задачата.

Съпоставянето на диференциалните уравнения, описващи обслужвани и необслужвани системи, показва, че определянето на показателя на надеждност става, както при необслужвани системи. Както е известно показателят на техническа готовност на комуникационната система със случаен период на обслужване се определя като вероятността системата да е изправна, в момента θ на постъпване на заявка. В този случай няма значение колко

пъти до постъпване на заявката системата е давала отказ. Необходимо е само тя да бъде изправна в интервала $(\theta, \theta + \Delta\theta)$. Следователно, за определяне на показателя на техническа готовност на системата $K(\theta)$, се използват същите методи, както при определяне на показателя $P(\tau_p)$, като сега се отчитат преходите на системата от състоянията от множеството Q , в състоянията от множеството R , ако тези преходи са преди момента θ . Системата уравнения за определяне на $K(\theta)$ има вида:

$$\frac{d}{d\theta} \bar{K}(\theta) = \bar{K}(\theta) \Lambda_1 \quad (2),$$

където Λ_1 е матрицата на преходите на системата от състояния от множеството Q в състояния от множеството R , $\bar{K}(\theta)$ – вектор на вероятностите на състоянията в момента θ .

Ако е зададено началното състояние на системата, решението на задачата може да се получи с известните методи или с помощта на линеен граф. Тогава

$$K(\theta) = \sum_{i=1}^{N_p} K_i(\theta) \quad (3),$$

където $K_i(\theta)$ е вероятността в момента θ , системата да се намира в състояние $x_i \in R$.

Макар че уравненията (1) и (3) имат еднакъв вид, решенията им са различни, тъй като диаграмите на преходите в разглежданите случаи са различни. Известният коефициент на готовност K е граничната стойност на показателя на техническа готовност $K(\theta)$. Ще отбележим, че в болшинството случаи, срещани в практиката на обслужваните системи, граничните вероятности на състоянията са постоянни, т.е.

$$\lim_{\theta \rightarrow \infty} \frac{dK(\theta)}{d\theta} = 0.$$

$$\text{Ако означим } \lim_{\theta \rightarrow \infty} K_i(\theta) = B_i, \text{ то } \lim_{\theta \rightarrow \infty} \bar{K}(\theta) = \bar{B},$$

където \bar{B} е векторът от граничните вероятности на състоянията. Тогава (2) добива вида

$$\bar{B} \Lambda_1 = 0. \quad (4).$$

Решението на системата (4) предвид естественото изискване $\sum_{i=1}^M B_i = 1$, позволява показателят на постоянна готовност K да се определи като сумата

$$K = \sum_{i=1}^{N_p} B_i, \quad (5),$$

т.е. въз основа на диаграмата на преходите на системата.

3. ИЗХОДНИ ЗАВИСИМОСТИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НАДЕЖДНОСТТА НА СИСТЕМА БЕЗ РЕЗЕРВИРАНЕ

Ще предположим, че броят на проверяваните при контрол елементи е $N_1 \leq N$, а интензивността на отказите на i -ия елемент е λ_i . При възникване на отказ на проверяван елемент работоспособността на проверяваната част от системата се възстановява с интензивност μ , а работоспособността на непроверяваната част не се променя.

За разглежданата система са възможни следните независими състояния:

x_1 – проверяваните и непроверяваните елементи са изправни;

x_2 – налице е отказ на проверяван елемент, системата се ремонтира, непроверяваните елементи са изправни;

x_3 – налице е отказ на непроверяван елемент, проверяваните елементи са изправни;

x_4 – появяват се откази на непроверявани елементи, когато системата е в състояние x_2 ;

x_5 – появяват се откази на проверявани елементи, когато системата е в състояние x_3 .

С помощта на изложените методи намираме

$$K(\theta) = \left[\frac{\mu}{\delta\Lambda + \mu} + \frac{\delta\Lambda}{\delta\Lambda + \mu} e^{-(\delta\Lambda + \mu)\theta} \right] e^{-(1-\delta)\Lambda\theta} \quad (6),$$

$$\text{където } \Lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i, \delta = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} \lambda_i}{\Lambda}.$$

При $\delta = 1$ зависимостта (6) приема вида на коефициента на готовност, а при $\delta = 0$ – вероятността за безотказна работа за време θ .

4. ИЗХОДНИ ЗАВИСИМОСТИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НАДЕЖДНОСТТА НА СИСТЕМА С РЕЗЕРВИРАНЕ

Ще предположим, че в система с резервирани елементи са възможни различни видове контролирани състояния: системата се контролира така, че се определя само нейната изправност; контролира се само един елемент; контролират се всички елементи. В зависимост от провеждания контрол, се получават различни резултати по осигуряване на надеждността на системата в процеса на нейната експлоатация. Ще разгледаме типичния за практиката случай – постоянно включен резерв при контрол само на изправността на системата. Тогава

$$P(\tau) = 1 - [1 - p_1(\tau)]^N, T_0 = \frac{1}{\lambda_1} \sum_{i=1}^N \frac{1}{i}, \quad (7),$$

където $p_1(\tau) = e^{-\lambda_1\tau}$ е вероятността за безотказна работа на един елемент. По такъв начин посочените характеристики са равни на характеристиките на необслужвани системи.

При еднакви интензивности имаме:

$$K = \frac{3\mu}{3\mu + 2\lambda} \text{ при } N = 2;$$

$$K = \frac{11\mu}{11\mu + 6\lambda} \text{ при } N = 3;$$

$$K = \frac{25\mu}{25\mu + 12\lambda} \text{ при } N = 4,$$

$$K = \frac{\mu \sum_{i=1}^N \frac{1}{i}}{\mu \sum_{i=1}^N \frac{1}{i} + \lambda} \text{ при произволно } N. \quad (8)$$

Ако работоспособността на системата се определя от не по-малко от $N-m$ нейни елементи, то

$$K = \frac{\mu \sum_{i=N-m}^N \frac{1}{i}}{\mu \sum_{i=N-m}^N \frac{1}{i} + \lambda} \quad (9).$$

За T_0 имаме:

$$T_0 = \frac{3\lambda + 2\mu}{\lambda(2\lambda + \mu)} \text{ при } N = 2,$$

$$T_0 = \frac{11\lambda + 5\mu}{2\lambda(3\lambda + \mu)} \text{ при } N = 3,$$

$$T_0 = \sum_{j=0}^{N-1} \frac{\lambda + \mu}{\lambda^{j+1}(j+1)} \text{ за произволно } N \quad (10).$$

5. ИЗХОДНИ ЗАВИСИМОСТИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НАДЕЖНОСТТА НА СИСТЕМА С КОМБИНИРАНО ОБСЛУЖВАНЕ

Комбинираното обслужване обединява характерните черти на периодичното обслужване и обслужването със случаен период. На практика то се реализира във вид на планово периодично обслужване с период T_1 и обслужване със случаен период при поява на отказ преди планово обслужване. Ето защо комбинираното обслужване може да се разглежда като случайно обслужване, реализирано в интервала T_1 . Предшестващото планово обслужване преди този интервал определя началните условия за реализация на обслужване със случаен период. Така обслужването със случаен период може да се разглежда като комбинирано обслужване при T_1 равно на общото време за експлоатация. Посочената връзка

позволява да се разработят методи за изследване надеждността на системи с комбинирано обслужване на основата на математическия апарат, използван при системи с планово периодично обслужване и с обслужване със случаен период.

Ще предполагаме, че времето за безотказна работа на всеки от елементите е експоненциално разпределено, както и че времето за възстановяване работоспособността на отказал елемент също е експоненциално разпределено. Тогава вероятностите на състоянията на системата в момент от време $\tau_4 \in T_1$ могат да бъдат определени като решения на (2), където $\bar{K}(\tau_4)$ е векторът-ред на вероятностите на състоянията на системата в момента $\tau_4 \in T_1$, Λ_1 – матрица на интензивностите, отчитаща преходите на системата от състояния $x_j \in Q$ в състояния $x_i \in R$. Вероятностите на състоянията в момента $\tau_4 \in T_1$ са обусловени само от преходите вътре в множествата R и Q и преходите от множеството R в множеството Q се определят от системата

$$\frac{d}{d\tau_4} \bar{P}(\tau_4) = \bar{P}(\tau_4)\Lambda, \quad (11),$$

където $\bar{P}(\tau_4)$ е векторът-ред на вероятностите на състоянията на системата в момента $\tau_4 \in T_1$, Λ – матрица на интензивностите на преходите.

Уравненията се решават по методите, изложени във (2), (3) и се намира показателят на надеждност на системата за интервала T_1 . Като начални условия при решаване на уравненията в интервала до първото планово обслужване се използват, както и по-рано, елементите на вектора-ред $\bar{P}(0)$. При решаване на уравненията в интервала между първото и второто планово обслужване, като начални $\bar{P}(1) = \bar{P}(\tau_4)U'$ или $\bar{K}(1) = \bar{K}(\tau_4)U$, където U и U' са матричните оператори, описващи степента на влияние на обслужването върху вероятността $\bar{P}(T_1)$ за техническо изправно състояние на системата в момента $\tau_4 = T_1$ (показател за техническа готовност) и върху вероятността $\bar{K}(T_1)$ за безотказна работа за време T_1 , получени след решаване на системите (2) и (11) при начални условия, характеризирани с вектора $\bar{P}(0)$.

Ако се изследва надеждността на система с комбинираното обслужване за произволен интервал T_{1j} , разположен между $(j-1)$ -то и j -то обслужване, системите се решават последователно при начални условия, определени за интервала T_{1j} , по формулите:

$$\bar{P}(j-1) = \bar{P}[(j-1)T_1]U', \quad (12),$$

$$\bar{K}(j-1) = \bar{K}[(j-1)T_1]U \quad (13),$$

$$\bar{P}'(j-1) = \bar{P}'[(j-1)T_1]U \quad (14).$$

Показателят за техническа готовност на системата и вероятностите за технически изправно състояние на системата в момента $\tau_4 \in T_{1j}$ се определят от (2) при начални условия, определени от (13). Вероятностите за безотказна работа и вероятностите за технически изправно състояние на системата в интервал τ_{4j} или в друг интервал $\tau \in T_{1j}$ се определят от (11) при начални условия, определени от (14). Определянето на тези показатели за момент от време преди началото на експлоатация на системата се извършва при начални условия, определени от (12).

Разчетният показател на надеждността се намира по формулата

$$H = \sum_{x_i \in R} P(x_i, t), \quad (15)$$

където $P(x_i, t)$ е вероятността системата да се намира в състояние x_i в момента t .

При определяне на показателя за техническа готовност $K(\theta)$ на системата или на показателя за техническа изправност $P(\theta)$ в качеството на разчетен

момент от време θ се избира моментът на постъпване на заявка за използване на системата. При определяне на вероятностите за техническа изправност за време τ_k или вероятностите за безотказна работа за време τ_p се избира краят на интервалите θ или τ_p .

Литература:

- Гиндев Е., *Увод в теорията и практиката на надеждността. Основи на приложната надеждност*, Академично издателство "Проф. Марин Дринов", София, 2000г.
- Гнеденко Б. В., Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев, *Математические методы в теории надежности*, Москва, Наука, 1965г.
- Гнеденко Б. В., И. Н. Коваленко, *Введение в теорию массового обслуживания*, Наука, Москва, 1987г.
- Диков Д.М., *Дисертация „Обобщен модел за технологично развитие на стационарната комуникационна система на Българската армия“* София, ИПИО, В.А. "Г.С.Раковски", 2008г.
- Начев А.И., *Структурно-функционална надеждност в компютърните мрежи*, Военно издателство, София, 2002г.

*Препоръчана за публикуване
от катедра „Математика“, МЕМФ*