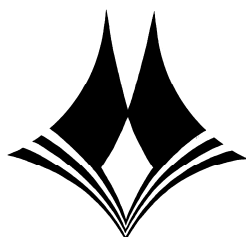


ГОДИШНИК
НА
МИННО-ГЕОЛОЖКИЯ УНИВЕРСИТЕТ
“СВ. ИВАН РИЛСКИ” - СОФИЯ
Том 53

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

ANNUAL
OF
UNIVERSITY OF MINING AND GEOLOGY
“ST. IVAN RILSKI” – SOFIA
Volume 53

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



Издателска къща “Св. Иван Рилски”
Publishing House “St. Ivan Rilski”
София, 2010
Sofia, 2010

ISSN 1312-1820

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

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

РЕДАКЦИОНЕН СЪВЕТ

на 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

Сорин Виатаву Никулина Виатаву	ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРЕДПАЗНИ КЛАПАНИ НА ХИДРАВЛИЧНИ СТОЙКИ ПРИ ПОВЪРХНОСТНИ КРЕПЕЖИ ЗА НУЖДИТЕ НА ВЪГЛЕДОБИВА	7
Христо Шейретов	УТОЧНЯВАНЕ НА МЕТОДИКАТА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НЕОБХОДИМАТА МОЩНОСТ НА ЗАДВИЖВАНЕ ПРИ ЛЕНТОВИТЕ ТРАНСПОРТЪОРИ	12
Христо Шейретов	СРАВНИТЕЛНА ОЦЕНКА НА СПЕЦИАЛНИТЕ ЛЕНТОВИ ТРАНСПОРТЪОРИ	18
Венелин Тасев	АВАРИЙНА ТОПЛИННА ЗАЩИТА НА ЦЕНТРОБЕЖНИТЕ САЧМЕНИ СЪЕДИНИТЕЛИ	23
Венелин Тасев	ТЕМПЕРАТУРА В МАНТИЯТА НА ЦЕНТРОБЕЖНИТЕ САЧМЕНИ СЪЕДИНИТЕЛИ	27
О. Гридин, Е. Мелников Т. Теплова, И. Миков Е. Биржуков, В. Соловьев	ПРАКТИЧЕСКИ ПРИЛОЖЕНИЯ НА ВАРОВИКОВ САПФИР В ПРОМИШЛЕННОСТТА И НЕОБХОДИМОСТ ОТ НЕГОВАТА ОБРАБОТКА	32
Иван Минин	СИМУЛАЦИОННО МОДЕЛИРАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА БАРАБАННА ТОПКОВА МЕЛНИЦА ТИП МТЦ 4,5Х6	38
Любен Тасев Венелин Тасев	ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ДОПУСТИМАТА РАБОТНА ТЕМПЕРАТУРА В ЦЕНТРОБЕЖЕН САЧМЕН СЪЕДИНИТЕЛ	41
Иван Минин Петко Недялков	ИЗСЛЕДВАНЕ НА ОТНОСИТЕЛНАТА ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТ НА БАРАБАННА ТОПКОВА МЕЛНИЦА ТИП МТЦ 4,5Х6 РАБОТЕЩА В УСЛОВИЯТА НА ФАБРИКА „ЕЛАЦИТЕ“	44
Петко Недялков	ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА РАЗМЕРИТЕ НА СМИЛАЩИТЕ ТОПКИ ВЪРХУ ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ НА ВИБРАЦИОННА МЕЛНИЦА	49
Калин Радлов Лъчезар Лазов	ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА РЕБОРДИТЕ НА ХОДОВИТЕ КОЛЕЛА НА МОСТОВ КРАН В УСЛОВИЯ НА СЕИЗМИЧНО ВЪЗДЕЙСТВИЕ	52
Калин Радлов	ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ГЛАВНАТА ГРЕДА НА МОСТОВ КРАН ПРИ СЕИЗМИЧНО ВЪЗДЕЙСТВИЕ ЧРЕЗ УМАЛЕН ФИЗИЧЕН МОДЕЛ	57
Михаил Петров	ИЗГРАЖДАНЕ НА ВОДОПРИЕМНА ФИЛТЪРНА СИСТЕМА В МОНИТОРИНГОВИЯ СОНДАЖ	62
Михаил Петров Николай Лулов Атанас Радев	ПРОКАРВАНЕ НА СОНДАЖИ ЗА МОНИТОРИНГОВИ ПУНКТОВЕ ЗА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ, ЗАМЪРСЯВАНИ ОТ РАЗРАБОТВАНЕТО НА МЕДНИ НАХОДИЩА ПО ОТКРИТ НАЧИН	68
Евтим Кърцелин Живко Илиев	ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ ИНЕРЦИОННИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ПОДЕМЕН СЪД ЗА РУДНИЧНА ПОДЕМНА УРЕДБА	73
Евтим Кърцелин Румен Исталиянов Иван Проданов Илия Йочев Николай Минеков Йоана Младенова	ИЗПОЛЗВАНЕ НА ГЛАВНИ ВОДООТЛИВНИ УРЕДБИ НА ПОДЗЕМНИ РУДНИЦИ КАТО ПОТРЕБИТЕЛИ-РЕГУЛАТОРИ НА МОЩНОСТ	77
Андрей Козаров Снежана Стоянова	НЯКОИ РЕЗУЛТАТИ, ПОДКРЕПЯЩИ ТЕОРИЯТА НА КАПИЦА ЗА КЪЛБОВИДНАТА МЪЛНИЯ	81
Румен Исталиянов Илия Йочев Иван Проданов Николай Минеков Йоана Младенова	ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ГЛАВНА ВОДООТЛИВНА УРЕДБА НА ПОДЗЕМЕН РУДНИК В “РУДМЕТАЛ” АД	84
Евтим Кърцелин Динко Господинов Румен Исталиянов Йоана Младенова Николай Лаков	ПРИНЦИПИ ЗА ЗАЩИТА НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ И ТЕХНИЧЕСКИ СРЕДСТВА ЗА ТЯХНАТА РЕАЛИЗАЦИЯ	87
Андрей Козаров Тодор Върбев	ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА АВТОМАТИЧНО СТАБИЛИЗИРАНЕ НА НАПРЕЖЕНИЕТО НА ИЗХОДА НА ТРАНСФОРМАТОР С ПОДВИЖЕН МАГНИТЕН ШУНТ	97
Тодор Върбев Даниел Манолов	ЗАХРАНВАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ КОНСУМАТОРИ В “МИНИ МАРИЦА ИЗТОК” ЕАД С ПОДВИЖНА ПОДСТАНЦИЯ	100
Евтим Кърцелин Йоана Младенова Румен Исталиянов Иван Проданов Илия Йочев Николай Минеков	ВЛИЯНИЕ НА ВИСИТЕ ХАРМОНИЦИ НА РЕЖИМА НА РАБОТА НА ТРИФАЗНИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МАШИНИ	105

Николай Минеков Румен Исталиянов Илия Йочев Иван Проданов Йоана Младенова Николай Лаков	ОПРЕДЕЛЯНЕ НА КОМПЕНСИРАЩАТА СПОСОБНОСТ НА СИНХРОННИ ДВИГАТЕЛИ С ОТЧИТАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА НАПРЕЖЕНИЕТО НА ЗАХРАНВАЩАТА МРЕЖА	108
Стефан Чобанов	ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИЯ НА РЕТРОФИТ В ПРОМИШЛЕНИТЕ ПОДСТАНЦИИ СН	111
Ради Пипев Красимир Велинов	АНАЛИЗ НА СИСТЕМИТЕ ЗА УПРАВЛЕНИЕ И ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА УЛИЧНИТЕ ОСВЕТИТЕЛНИ УРЕДБИ (СУЕ-УОУ)	116
Иван Стоилов Кирил Джустров	ВИСШИ ХАРМОНИЦИ В МРЕЖИ С МОЩНИ ВЕНТИЛНИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ	121
Ангел Зъбчев	ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРЕХОДНИЯ ПРОЦЕС ПРИ ВКЛЮЧВАНЕ НА АПАРАТИ ЗА КОНТРОЛ НА ИЗОЛАЦИЯТА АЗШ-З	125
Стефан Стефанов Теодора Христова	СРОК ЗА ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА ВЕРТИКАЛНИТЕ АНОДНИ ЗАЗЕМИТЕЛИ	129
Теодора Христова Мила Илиева	ИЗИСКВАНИЯ КЪМ УПРАВЛЕНИЕТО НА ИНФОРМАЦИОННА СИСТЕМА ЗА КОНТРОЛ НА КАТОДНА ЗАЩИТА	133
Георги Велев Петър Петров	МАТЕМАТИЧЕСКО МОДЕЛИРАНЕ И АНАЛИЗ НА ЗАЗЕМИТЕЛИ С ПРОВОДИМА БЕТОННА ОБМАЗКА	137
Кристинел Попеску Луминита Попеску Василе Козма	НЯКОИ АСПЕКТИ ПРИ РАБОТА НА ЕЛЕКТРОТРАНСФОРМАТОРИТЕ	141
Луминита Попеску Кристинел Попеску	АСПЕКТИ ПРИ НАГРЯВАНЕ НА АСИНХРОННИТЕ ДВИГАТЕЛИ ПРИ РАБОТА В РАЗЛИЧНИ РЕЖИМИ	145
Кристинел Ракучану Луминита Попеску	АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ РАЗПРОСТРАНЕНИЕТО НА ВЪГЛИЩНИ ЗАМЪРСИТЕЛИ ОТ ТЕЦ	148
Василе Козма Константин Черчел Флорин Грофу Кристинел Попеску Василе Козма	СЪВРЕМЕННА СИСТЕМА ЗА ТЕСТВАНЕ НА ЕЛЕКТРОТРАНСФОРМАТОРИ	154
Гоце Стефанов Люпчо Караджинов Наташа Мойсоска	НЯКОИ АСПЕКТИ НА РАБОТА В РЕЖИМ НА КЪСО СЪЕДИНЕНИЕ В ЕЛЕКТРОСТАНЦИИ И ТРАНСФОРМАТОРНИ ПОСТОВЕ	157
Гоце Стефанов Люпчо Караджинов Наташа Мойсоска	ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ИНДУКЦИОННИ НАГРЕВАТЕЛИ СЪС СИМУЛАЦИОНИ МЕТОДИ	160
Николай Янев Кънчо Иванов Иван Казанджиев Начко Халачев Георги Георгиев Петя Костова	ПОВИШАВАНЕ КАЧЕСТВОТО НА ДАННИТЕ ЧРЕЗ ПРИЛАГАНЕ НА СИСТЕМАта VEZNA	166
Петко Лалов Десислава Симеонова	МАТЕМАТИЧНИ МОДЕЛИ НА КОНВЕКТИВНА ГАЗОВА ДИФУЗИЯ В МИННИ ИЗРАБОТКИ	172
Здравко Илиев Диана Ташева	ИЗПОЛЗВАНЕ НА OPEN SOURCE HARDWARE ПЛАТФОРМА В УЧЕБНИЯ ПРОЦЕС	175
Здравко Илиев Диана Ташева	УСТРОЙСТВО ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА НАТОВАРВАНЕТО НА ПОДЕМНИТЕ ВЪЖЕТА ПРИ РОТОРНИТЕ БАГЕРИ	180
Ясен Видолов	ПЛАТФОРМЕНООРИЕНТИРАНА ВРЕМЕВА ОПТИМИЗАЦИЯ НА БЪРЗОТО ФУРИЕ ПРЕОБРАЗУВАНЕ	186
Ясен Видолов	ПАРАЛЕЛНА ОБРАБОТКА НА ИНФОРМАЦИЯТА ПРИ РЕАЛИЗАЦИЯ НА ПРИБЛИЖЕНИ МЕТОДИ ЗА НАМАЛЯВАНЕ ИЗТИЧАНЕТО НА ЧЕСТОТИ ПРИ СПЕКТРАЛНИЯ АНАЛИЗ	192
Станислав Димов	СИМУЛАЦИОНЕН МОДЕЛ НА БЕЗЖИЧНА МРЕЖА ЗА ЛОКАЛИЗИРАНЕ НА АВАРИИ В МИННИ ПРЕДПРИЯТИЯ ИЗПОЛЗВАЩ ПРОГРАМНИЯ ПРОДУКТ „MATLAB”	197
Хайнек Пречек Радек Котик Моника Репкова	ДИНАМИКА НА СЪДОВЕТЕ ПРИ ВЕРТИКАЛЕН ТРАНСПОРТ В ПОДЗЕМНИТЕ РУДНИЦИ	200

CONTENTS

Sorin Vătavu Niculina Vătavu	STUDY ON THE SAFETY VALVES FOR THE HYDRAULIC PROPS ON THE ROOF SUPPORTS USED DURING COAL MINING	7
Hristo Sheiretov	SPECIFYING THE METHODOLOGY FOR THE CALCULATION OF THE DRIVE POWER FOR BELT CONVEYORS	12
Hristo Sheiretov	COMPARISON OF THE SPECIAL BELT CONVEYORS	18
Venelin Tasev	EMERGENCY THERMAL PROTECTION OF CENTRIFUGAL BALL JOINTS	23
Venelin Tasev	TEMPERATURE IN THE MANTLE OF CENTRIFUGAL BALL JOINTS	27
Gridin O., Melnikov E., Teplova T., Mikov I., Birjukov E., Solovjev V.	APPLICATION PROSPECTS OF THE LIME SAPPHIRE IN THE INDUSTRIES AND AN URGENCY OF ITS SUPERFICIAL PROCESSING	32
Ivan Minin	SIMULATION MODELING AND ANALYSIS OF A TUMBLING BALL MILL TYPE 4,5X6	38
Lyuben Tasev Venelin Tasev	DETERMINATION OF THE PERMISSIBLE OPERATING TEMPERATURE IN A CENTRIFUGAL BALL JOINT	41
Ivan Minin Petko Nedyalkov	STUDY OF RELATIVE PRODUCTIVITY OF TUMBLING BALL MILLS TYPE 4,5X6 WORKING UNDER THE CONDITIONS OF PROCESSING PLANT "ELACITE"	44
Petko Nedyalkov	RESEARCH OF MILLING BALLS DIMENSIONS INFLUENCE OVER THE CHARACTERISTICS OF VIBRATING COMMUNUTION MILL	49
Kalin Radlov Lachezar Lazov	TRAVELLING WHEELS FLANGE STRENGTH CALCULATIONS OF BRIDGE CRANE IN CASE OF EARTHQUAKE	52
Kalin Radlov	BRIDGE CRANE MAIN BEAM EXPERIMENTAL RESEARCH IN CASE OF EARTHQUAKE BY USING A MINIATURE MODEL	57
Mihail Petrov	BUILDING UP A WATER – ACCEPTING FILTER SYSTEM IN A MONITORING DRILLING	62
Mihail Petrov Nikolay Lulov Atanas Radev	MAKING DRILLINGS FOR MONITORING POINTS FOR UNDERGROUND WATERS POLLUTED BY OPEN PIT COPPER DEPOSITS EXPLORATION	68
Evtim Kartselin Zhivko Iliev	EXPERIMENTAL DETERMINATION OF INERTIA OF CHARACTERIZATION OF WINDING VESSEL FOR MINE WINDING MACHINE	73
Evtim Kartselin Rumen Istalianov Ivan Prodanov Ilia Jochev Nikolai Minekov Ioana Mladenova	USE OF MAIN PUMP INSTALLATIONS WITHIN THE UNDERGROUND MINES AS USERS REGULATORS OF POWER	77
Andrey Kozarov Snejana Stoyanova	SOME RESULTS WHO SUPPORTING THE THEORY OF KAPITSA FOR THE BALL LIGHTNING	81
Rumen Istalianov Ilia Jochev Ivan Prodanov Nikolai Minekov Ioana Mladenova	EXPERIMENTAL STUDY ON THE MAIN WATER PIPE SYSTEM INTENDED FOR DERIVING WATER / MAIN PUMP INSTALLATION, LOCATED WITHIN UNDERGROUND MINE NAMED "RUDMETAL" CORPORATION	84
Evtim Kartselin Dinko Gospodinov Rumen Istalianov Ioana Mladenova Nikolay Lakov	PRINCIPLES FOR PROTECTION OF ELECTRICAL MOTORS AND TECHNICAL METHODS FOR THEIR REALIZATION	87
Andrey Kozarov Todor Varbev	POSSIBILITIES FOR AUTOMATIC STABILIZING OF THE TENSION OF THE EXIT OF A TRANSFORMER WITH A MOBILE MAGNETIC BYPASS	97
Todor Varbev Daniel Manolov	SUPPLY OF ELECTRIC CONSUMERS IN THE "MINI MARITSA IZTOK" EAD WITH A MOBILE SUBSTATION	100
Evtim Kartselin Ioana Mladenova Rumen Istalianov Ivan Prodanov Dinko Gospodinov Ilia Jochev Nikolai Minekov	INFLUENCE OF THE HIGH ORDER HARMONICS ON THE BEHAVIOR OF THE THREE-PHASE MACHINE	105

Nikolai Minekov Rumen Istalianov Ilija Jochev Ivan Prodanov Ioana Mladenova Nikolay Lakov	DETERMINATION OF THE COMPENSATORY ABILITY OF SYNCHRONOUS ENGINES TAKING INTO CONSIDERATION THE INFLUENCE OF THE VOLTAGE ON THE ELECTRICAL POWER SUPPLY NETWORK	108
Stefan Chobanov	TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF MODERNIZATION MV INDUSTRIAL SUBSTATIONS	111
Radi Pipev Krassimir Velinov	ANALYSIS OF THE SYSTEMS FOR MANAGEMENT AND MAINTENANCE OF STREET LIGHTING SYSTEMS	116
Ivan Stoilov Kiril Dzustrov	UPPER HARMONICS IN SUPPLY LINES WITH POWERFUL VALVE CONVERTERS	121
Angel Zabtchev	SURVEY OF TRANSITION PROCESS FOR INCLUSION OF APPARATUS FOR CONTROL OF INSULATION AZS-3	125
Stefan Stefanov Teodora Hristova	THE PERIOD OF SERVICE OF VERTICAL ANODE GROUNDERS	129
Teodora Hristova Mila Ilieva	REQUIREMENT TO THE INFORMATION SYSTEM FOR CONTROL OF CATHODE PROTECTION	133
Georgi Velev Petar Petrov	MATHEMATICAL MODELLING AND ANALYSIS OF CONDUCTIVE CONCRETE ENCASED GROUNDING ELECTRODES	137
Cristinel Popescu Luminița Popescu Vasile Cozma	ASPECTS OF THE OPERATION IN CHARGE OF ELECTRICAL TRANSFORMERS	141
Luminița Popescu Cristinel Popescu	ASPECTS OF THE HEATING OF ASYNCHRONOUS MOTORS FOR DIFFERENT OPERATING PROCEDURES	145
Cristinel Racoceanu Luminița Popescu	ANALYSIS RESULTS POLLUTANTS DISPERSION FROM COAL IN POWER INSTALLATIONS	148
Vasile Cozma Cercel Constantin Grofu Florin	MODERN SYSTEM FOR TESTING ELECTRICAL TRANSFORMERS	154
Cristinel Popescu Vasile Cozma	ASPECTS REGARDING THE SHORT-CIRCUIT OPERATING MODE OF THE STATIONS AND TRANSFORMERS POSTS	157
Goce Stefanov Ljupco Karadzinov Natasa Mojsoska	CALCULATION OF INDUCTION DEVICE WITH SIMULATION METHODS	160
Nikolay Yanev Kantcho Ivanov Ivan Kazandjiev Nachko Halachev Georgi Georgiev Petia Kostova	IMPROVING THE QUALITY OF DATA THROUGH APPLICATION OF THE SYSTEM VEZNA	166
Petko Lalov Desislava Simeonova	MATHEMATICAL MODELS OF CONVECTIVE DIFFUSION OF GAS STREAM IN A MINE WORKING	172
Zdravko Iliev Diana Tasheva	OPEN-SOURCE HARDWARE PLATFORM USAGE IN THE EDUCATION PROCESS	175
Zdravko Iliev Diana Tasheva	LOAD MEASURING DEVICE OF ELEVATION WIRE ROPES IN BUCKET WHEEL EXCAVATORS	180
Yasen Vidolov	ARCHITECTURE DEPENDANT REALIZATION OF FAST FOURIER TRANSFORM BY USING SSE INSTRUCTION SET	186
Yasen Vidolov	PARALLEL REPRESENTATION OF INTERPOLATION APPROACHES FOR FREQUENCY ESTIMATION	192
Stanislav Dimov	SIMULATION MODEL OF WIRELESS NETWORK FOR DISASTER DETECTION IN MINING ORES BASED ON PROGRAM PACKAGE "MATLAB	197
Hynek Přechek Radek Kotík Monika Řepková	THE DYNAMICS OF VESSELS OF VERTICAL TRANSPORT OF UNDERGROUND MINES	200

STUDY ON THE SAFETY VALVES FOR THE HYDRAULIC PROPS ON THE ROOF SUPPORTS USED DURING COAL MINING

Sorin Vătavu¹, Niculina Vătavu²

¹ University of Petrosani, Romania, sorinvatavu57@yahoo.com, vatavu@upet.ro

² INCD INSEMEX Petroșani, Romania, niculina.vatavu@gmail.com

ABSTRACT. Supporting of the underground workings and driving the mine pressure are an integral part of the series of operations comprising coal mining, that provide the safety of the activity and of the deposit.

At present, the hydraulic prop is being used almost exclusively as a carrying element of the supporting equipment used underground and it can be used either as individual supporting element or it can be part of the powered roof support; the hydraulic prop comprises a power cylinder and a sub-assembly made by the hydraulic control apparatus that embeds a safety valve.

The interaction between the roof rocks and the supporting equipment shall give the working resistance of hydraulic props through the personal safety valve. Nevertheless, the operation of safety valves takes place in special conditions and this is the reason why they have to meet particular requirements, not valid in the operation of safety valves used in the industrial hydraulic driven systems.

This paper shows both the requirements for these hydraulic props and constructive and operating information on the safety valves specific to the underground supporting equipment, emphasizing the parameters necessary for a correct and efficient operation of the system of the hydraulic prop.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРЕДПАЗНИ КЛАПАНИ НА ХИДРАВЛИЧНИ СТОЙКИ ПРИ ПОВЪРХНОСТНИ КРЕПЕЖИ ЗА НУЖДИТЕ НА ВЪГЛЕДОБИВА

Сорин Ватаву¹, Никулина Ватаву²

¹ Университет Петрошани, Румъния, E-mail: sorinvatavu57@yahoo.com, vatavu@upet.ro

² INCD INSEMEX, Петрошани, Румъния, E-mail: niculina.vatavu@gmail.com

РЕЗЮМЕ: Укрепването на подземните работи е една от най-съществените дейности при въгледобива, която изисква безопасност на работа и на находища. Към настоящия момент хидравличната стойка е основният носещ елемент на укрепващото оборудване при подземни работи и може да бъде използвано или като самостоятелен укрепващ елемент, или като част от цялостна укрепваща система; хидравличната стойка съдържа носещ цилиндър и подвезел, състоящ се от контролиращ хидравличен апарат, който укрепва предпазния клапан в грунта. Взаимодействието между скалната повърхност и укрепващото оборудване придава работна устойчивост на хидравличната стойка чрез предпазния клапан. Въпреки това действието на предпазния клапан се реализира при определени условия и изисквания, които не са в сила при работа на предпазните клапани, използвани при традиционни промишлени хидравлично-задвижвани системи. Статията представя от една страна тези изисквания към хидравличните стойки, а от друга- конструктивна и работна информация за предпазните клапани характерни при подземни укрепващи съоръжения. Набляга се върху необходимите параметри за правилна и ефективна дейност на системата за хидравлични стойки.

Introduction

By supporting the face and directing the pressure of the roof, the operation of all coal mining process components is observed, therefore ensuring the safety conditions both for the personnel as well as for the massif.

Although the operation cycles face supports have a relatively reduced life span, the problems related to the support are generally difficult to solve, considering the requirements imposed by the geologic-mining conditions which are extremely variable as well as not knowing the entire basic data; the large variety of natural conditions lead to the development of several structural and technological solutions for supports.

Mine supports are especially used for coal face and meet a series of technologic functionalities, their main functionality being to support the roof of this kind of works. Together with the transportation and cutting equipment, the support, forms a

complete longwall package, a machine system ensuring a simple or complex mechanisation of the required works for coal extraction from a longwall face of underground mines.

These days, the hydraulic prop is used almost exclusively as a bearing element of the face support. It can be used either as an individual supporting element or integrated in the metallic construction of the shields which compose the mechanised support.

The interaction between the rocks of the roof and the support created with hydraulic props is the one which, in the formed mechanical system, determines on one hand the load and deformation level of the rock layer found in the superior part of the support and on the other hand the resistance of the hydraulic prop to the descend of the rocks from the roof. One of the most important components of this kind of system, i.e. rock-support system, is the safety valve which constitutes the main element determining the operating resistance of the support hydraulic prop of the rock of the roof.

Structural and functional particularities of hydraulic props and safety valves

The hydraulic prop represents the main support element of each support component (frame with individual props and beams, or mechanised shield support); this realises the bearing function responding with a resistance force, through the superior side of the support (beam), to the lithostatic pressure generated by the rocks of the roof of the face.

The structure of the prop contains a force hydraulic cylinder HC acting together with a pilot controlled pressure retention check valve CCV, a safety (relief) valve SV and a manometer M, usually composing a hydraulic system and connected to a circuit as shown in Figure 1.

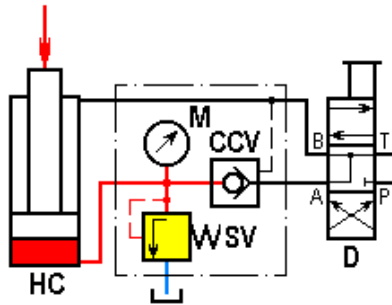


Fig. 1 Face hydraulic prop. Hydraulic basic diagram

The supply with operational liquid from the distributor (directional control valve) D ensures the extension of the prop with the opening force F_o and lifts the superior support beam of a G_B weight:

$$F_o = G_B = p_{PP} \cdot \eta_{hPP-P} \frac{\pi D_C^2}{4} \eta_{mC}, \quad (1)$$

fastening it to the roof of the face with the pretension force:

$$F_p = p_{PPmax} \cdot \pi D_C^2 / 4, \quad (2)$$

where: p_{PP} is the pressure developed by the supply hydraulic power pack inside the cylinder of the prop, under a piston; D_C is the interior diameter of the cylinder; η_{hPP-P} is coefficient of hydraulic efficiency of the circuit between the power pack and the prop; η_{mC} is the coefficient of mechanic efficiency of the cylinder.

After the supply with liquid has ended (the centre position of the distributor) the cavity under the piston remains closed by the retention valve CCV.

In time, mining pressure rises as an effect of the rocks from the roof pressing on the superior beam, leading to the increase of liquid pressure under the piston of the prop, when reaching the input pressure, the safety valve opens allowing the discharge of a certain amount of liquid from the interior of the cylinder, therefore limiting the force of resistance of the prop to a constant value – bearing capacity of the prop:

$$F_b = p_{maxSV} \cdot \pi D_C^2 / 4. \quad (3)$$

Operating according to this constant resistance regime is important considering the mining technology and the safety of the support during operation and it depends on the good operation of the safety valve.

The amount of liquid discharged through the safety valve considering this operational regime may be released either in the surrounding space or in the return circuit of the support.

In the first case, a simplification of the system is observed, and the operation of the valve becomes visible, however, there will be certain liquid losses ending up on the floor of the mine. The pressure in the return circuit does not by any means influence the correct operation of the safety valve.

If the outlet of the safety valve is connected to the return circuit, the influence of the pressure in this system is different depending on its construction.

Figure 2 represents the two main safety (relief) valves: a – fitted with a classical pneumatic element and b – fitted with mechanical spring.

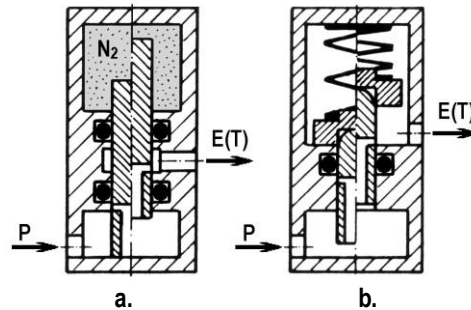


Fig. 2 Safety (relief) valves for hydraulic props. Main types

The safety valves using as an elastic element a compressed nitrogen cushion, enclosed in a tight cavity (figure 2,a), does not modify its operational characteristics in proportion with the pressure of the outlet circuit, thus, this pressure does not influence the changing capacity of the valve. The disadvantage of this kind of valves is the need of periodically loading them with compressed nitrogen as it is lost in time.

Considering the safety valves fitted with a coiled spring as a pressure regulating element, the outlet circuit is chained with the chamber of the spring (figure 2,b). The pressure on the return circuit generates a force over the shutter in the same direction as the force of the spring, leading to the increase of opening pressure and reduces the transition (discharge) capacity of the valve.

The decrease, up to zero, of the discharge capacity of the safety valves by increasing the pressure in the main return pressure pipeline is one of the main causes of cylinder shirt swelling of the hydraulic props therefore leading to taking them out of operation.

The operation of the safety valves of the hydraulic props, happens therefore in special conditions, reason for which certain requirements are imposed, which cannot be met during the operation of other valves used in hydraulic systems.

The operation regime characterising the long time operation of the safety valve and of the hydraulic prop is the one that ensures the smallest drop of the rocks of the roof with an average speed of several millimetres per hour; therefore

determines the smallest flow through the valve, for opening pressures usually regulated between 30 – 60 MPa.

The connection of the safety valve to the hydraulic prop is made differently according to the type of hydraulic prop used: individually or for mechanised support. Figure 3 represent the general design of the shutter assembly of the hydraulic prop for individual support, while Figure 4 represents a section of the nitrogen safety valve used in mechanised support hydraulic props. Both figures also represent the basic diagram of the hydraulic circuit of the prop comprising as well the safety valve. As liquid, an oil in water fluid with 3 to 5% oil, for the hydraulic props, is used.

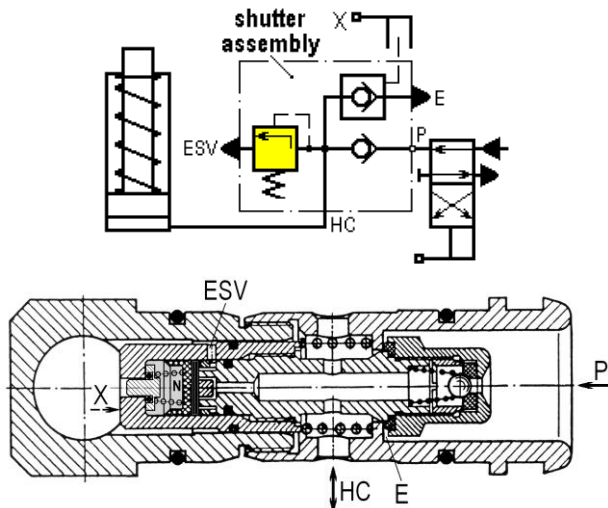


Fig. 3 Individual hydraulic prop shutter for open circuit

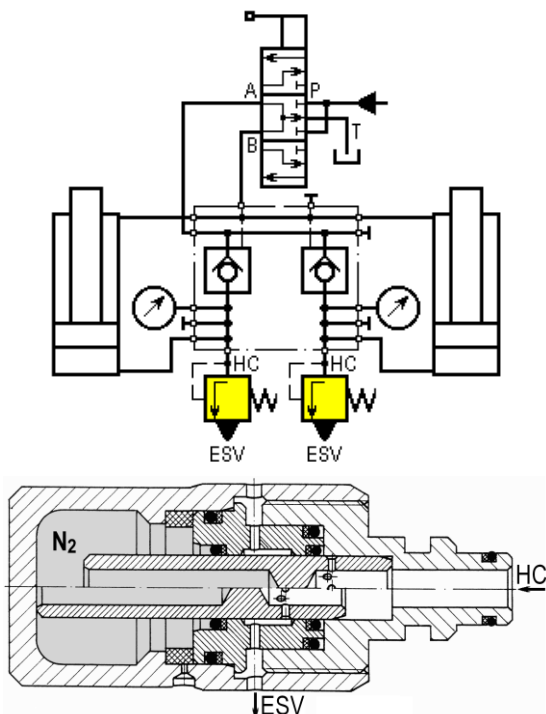


Fig. 4 Safety valve for the hydraulic props for mechanised support

Considering these conditions, the most important indexes of the operation capacity of the support when interacting with the rocks of the roof are the degree of tightness of the working cavity of the hydraulic prop and the establishment of its resistance to the hanging of the rocks of the roof. In the case of

total micro-losses of liquid through the pilot controlled retention check valve or through the seals of the piston, the hydraulic prop will not be able to develop its nominal resistance, and could lead to the disturbance of the rocks of the roof and their sudden caving, therefore generating dangerous situations in the face.

Requirements for the safety valves of the hydraulic props

The most vulnerable element of all the elements of a hydraulic system of the prop from the point of view of liquid leakages is the safety valve, therefore the basic requirement is that during operation the valve to be perfectly tightened for different operating pressures in the operational cavity of the hydraulic prop – from a minimum to a maximum pressure determined by the opening of the safety valve.

The sagging character of the rocks of the roof determines the operation of the support:

- in the case of a monotonous development process, the sagging of the roof is periodical, measured in millimetres, and controlled slides of the props by the safety valves;
- if the layer above the support is formed of hard displacing rocks, and above the rocks of the roof there are heavy sandy or lime layers, a sudden sagging of the roof may appear (roof breaking phenomenon), highly increasing the speed of the roof's descent, reaching in some cases 0.5 m/s.

Therefore, considering the inertia and the limits of the safety valve, dangerous increase of pressure appear in the cavity under the piston, leading to the exceeding of the superior limit of the bearing of the prop, the swelling phenomenon of the cylinder and to remnant deformities of the mobile components of the prop or of the support.

That is why, when the support is destined for operation in roofs with hard displacing rocks and with block displacement, valves of high discharge capacity are chosen in order to avoid the dangerous increase of pressure inside the operating cavity of the cylinder, respectively its loading.

Another condition imposed for the safety valves of the hydraulic props is that the difference between the pressure opening and closing value to be as small and as stable during the entire operation; it is also implied that the difference not modify significantly when high speed variations of the rocks of the roof occur (when the flow through the valve increases)

Figure 5 represents the operating characteristics of the safety valves, and two operating regimes may be distinguished:

- regime no I (OA) – the increase of the resistance of the hydraulic prop: the valve remains closed, and the effect of the rocks of the roof produces an increase of pressure in the cavity of the prop; a perfect tightness of the safety valve is imposed;
- regime no II (AB) – constant resistance of the hydraulic prop: under the continuous action of the rocks of the roof the prop operates in an elastic guidance regime; repeated opening and closing of the safety valve, the repeated opening and closing of the safety valve is produced, with a variable frequency and periodic discharge of a quantity of liquid from

the cavity under the piston. The operating resistance of the hydraulic prop (depending on the pressure in the cavity of the cylinder) varies within the limits $p_{\min SV} - p_{\max SV}$, appearing several differences of the opening and closing pressures of the safety valve depending on the way the rocks of the roof manifest themselves.

In this operating regime of the safety valve, if the rocks of the roof are hard displacing, sudden displacements of the rocks may occur: therefore, momentary high flows should go through the valve corresponding to pressure $p_{\max SV}^*$, superior to the normal pressure $p_{\max SV}$; if this resistance is higher, it can lead to the appearance of remnant deformities, with consequences already mentioned.

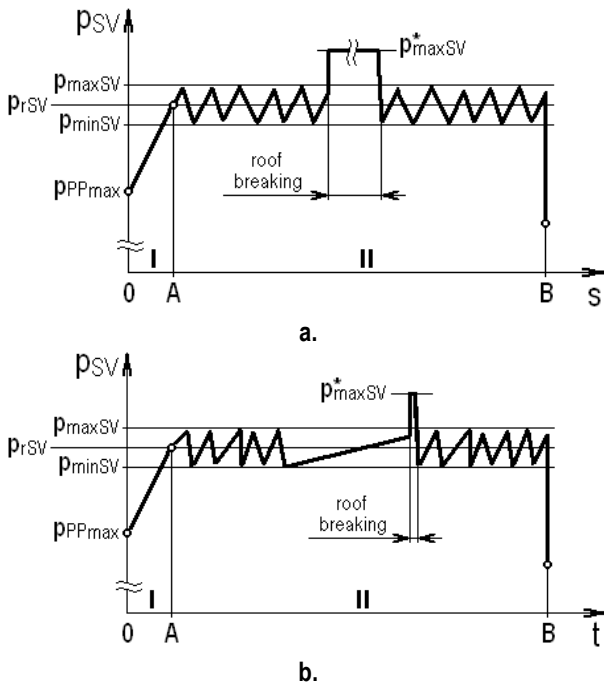


Fig. 5. Operating characteristics of safety valves for hydraulic props: a – opening pressure dynamics $p_{SV} = f(t)$; b – the dependence of the opening pressure on the stroke of the piston of the prop $p_{SV} = \varphi(s)$.

The pressure drop of the liquid inside the hydraulic system of the prop and the increase of volumetric losses depend on the operating pressure, the roughness and precision in execution of the tight surface of the valve, the wear degree, the elasticity of the hydraulic system of the prop, viscosity as well as on other physical properties of the operating liquid.

Testing the performance of the safety valves of the hydraulic props

Starting from the utmost importance of supporting mining works, from the point of view of a normal development of the technological process and in full labour safety conditions, it results the need of correct operation of hydraulic props in all possible conditions of the face.

As the safety valve is the main component of the hydraulic prop, the operation of which determines its behaviour in contact with the rocks of the roof of the face, it results the need for the safety valves to be verified according to a maintenance schedule which establishes if certain operating parameters are

within the limits of the values mentioned in specific norms and regulations.

The main parameters of the safety valves and the verification conditions are:

1. Opening $p_{\max SV}$ and closing $p_{\min SV}$ pressure values of the safety valve are determined on a testing prop foreseen with the possibility of locking its extension: a flow of 40 cm³/min at a temperature comprised between 20 and 25 °C is used.

The operating pressure is gradually increased inside the working cavity of the prop until it is fixed between the bearers, continuing with the increase of pressure until the safety valve opens and the flow passes; then, the supply circuit is closed and the variation of pressure is constantly checked after a certain waiting time.

The norms foresee that the operating regime (opening - closing) if the safety valves does not, during the first year of operation, surpass 10% of the regulating pressure p_{rSV} . There is the need, as well, for the effective difference between the opening $p_{\max SV}$ and closing $p_{\min SV}$ pressures not to be more than 15 % of the regulating pressure, established for the bearing capacity if the prop.

2. In order to verify its behaviour when a variable flow passes through the valve, the pressure is increased until the valve starts its operation, then the flow of the liquid is increased until it reaches the recommended nominal value; then, a decrease of the flow follows until the safety valve closes. Considering the regulating pressure, an increase of the opening pressure with 7.5 MPa, the most, for an outlet flow comprised between 0 and 15 L/min.

Conclusions

The operation of the safety valves of the hydraulic props is made in special conditions, reason for which it is imposed for them certain requirements which have never been met during the operation of other safety valves used for other hydraulic operated systems.

The operating regime characterising the long operation of these valves is the one ensuring the slightest and uniform sagging of the rocks of the roof, with an average speed of several millimetres per hour, determining the lowest flow through the valve for opening pressures regulated within the limits 30 – 60 MPa.

When the destination of the support is that of working with roofs of hard falling rocks and block falls, valves with a high discharge capacity are chosen, which are able to avoid the dangerous increase of pressure in the working cavity of the prop and ensure its efficient protection.

The liquid discharged through the valve following this operation regime may be discharged either in the surrounding space or into the return circuit of the support. Considering the latter case, the return counter pressure generates an extra force over the closing organism, leading to the increase of the opening pressure and to the decrease of the discharge capacity of the valve; the decrease of the discharge capacity is one of the main causes for which the encasings of the cylinders of the hydraulic props swell and therefore removing them of operation.

The following technical requirements are very important for the evaluation of the quality of safety valves for the hydraulic props:

- absolute tightness until the reach of the opening pressure;

- the establishment of the regulating pressure and a minimum dispersion of the operating pressures (i.e. opening and closing pressures);

- an increased safety and sustainability degree.

Recommended t for publication of Editorial board

УТОЧНЯВАНЕ НА МЕТОДИКАТА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НЕОБХОДИМАТА МОЩНОСТ НА ЗАДВИЖВАНЕ ПРИ ЛЕНТОВИТЕ ТРАНСПОРТЪОРИ

Христо Шейретов

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

РЕЗЮМЕ. Направени са изчисления на мощността за задвижване на лентови транспортъори по две съществуващи методики за изчисляване. Изследвано е влиянието на различни фактори върху изчислената мощност. Предложена е методика за по-точно определяне на мощността като се използват горните две.

SPECIFYING THE METHODOLOGY FOR THE CALCULATION OF THE DRIVE POWER FOR BELT CONVEYORS

Hristo Sheiretov

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

ABSTRACT. The drive power of several belt conveyors is determined according to two existing methodologies. The influence of different factors on the calculated power is studied. A methodology for more precisely determination of the power is suggested.

Увод

Съществуват два метода за определяне на общото съпротивление и мощността на двигателя при лентовите транспортъори. При първия метод (Гетопанов, 1991; Деевски, 1982; Спиваковски, 1955) се определят силите на опън в лентата по точковия метод. След това се определя общото съпротивление като разлика от влизащата и излизаща сила на задвижващия барабан плюс съпротивлението в него. При втория метод (Bahr, 1959; Станев, 1975) общото съпротивление се получава като сума от съпротивленията в товарния и празния клон. Съпротивленията в барабаните се отчитат чрез коефициента на допълнително съпротивление. Този коефициент зависи от дължината на транспортъора, като при намаляване на дължината, той се увеличава.

При решаването на конкретни задачи за транспортъори с различни дължини, наклони на транспортиране и брой на барабаните, се получават значителни разлики на изчислената мощност по двете методики. Целта на настоящето изследване е да се направят изчисления на транспортъори с известна инсталирана мощност. След това да се сравни тази мощност с изчислената по двете методики. Друга цел е да се изследва влиянието на дължината на транспортъора, наклона на транспортиране и броя на барабаните върху изчислената мощност. И накрая да се предложи методика (като се използват горните две) при която изчислената мощност да е максимално близка до инсталираната.

Изчисляване на мощността на транспортъори с известна инсталирана мощност

Пример 1. Подземен хоризонтален транспортъор (Гетопанов, 1991) (фиг.1) със следните данни: дължина $L=835\text{m}$, наклон на транспортиране $\beta=0^\circ$, производителност $Q_n=213\text{t/h}$, ширина на лентата $B=0,8\text{m}$, ъгъл на обхват на задвижващите барабани $\alpha=420^\circ$, коефициент на триене между лентата и задвижващите барабани $\mu=0,25$, тягов фактор на задвижването $e^{\mu\alpha}=6$, лентено тегло на лентата $q_n=108\text{N/m}$, линейно тегло на ролковите опори в товарния клон $q'_p=206\text{N/m}$, линейно тегло на ролковите опори в празния клон $q''_p=59\text{N/m}$, скорост на лентата $v=1,6\text{m/s}$, коефициент на съпротивление при движение $w_0=0,035$, КПД на задвижването $\eta=0,75$, коефициент на съпротивление в обръщателните барабани $k_1=1,05$, коефициент на съпротивление в задвижващите барабани $k_2=0,075$, коефициент на допълнително съпротивление $c=1,1$, инсталирана мощност на двигателите $N_{\text{дв}}=80\text{KW}(2\times 40)$.

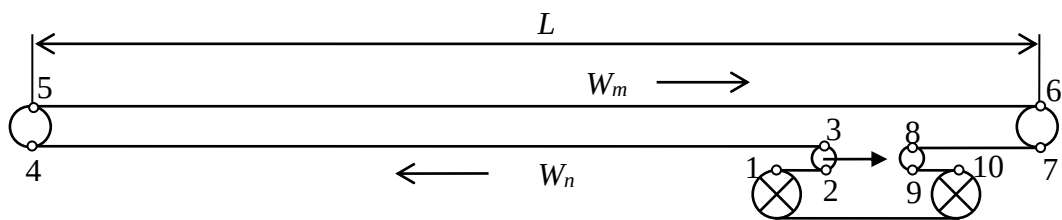
Необходимата мощност на задвижването $N_{\text{дв}1}$ (по първата методика) се определя по формулите:

$$N_{\text{дв}1} = \frac{W \cdot v}{1000 \cdot \eta}, \text{ KW}$$

$$W = S_{10} - S_1 + (S_{10} + S_1) \cdot k_2, \text{ N}$$

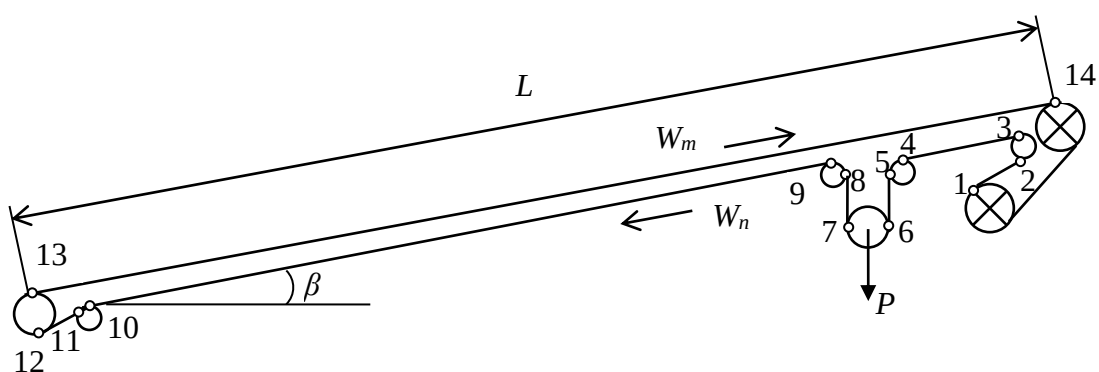
$$S_1 = \frac{k_1^3 \cdot W_n + k_1^2 \cdot W_m}{e^{\mu\alpha} - k_1^4}, \text{ N}$$

$$S_{10} = k_1^4 \cdot S_1 + k_1^3 \cdot W_n + k_1^2 \cdot W_m, \text{ N}$$



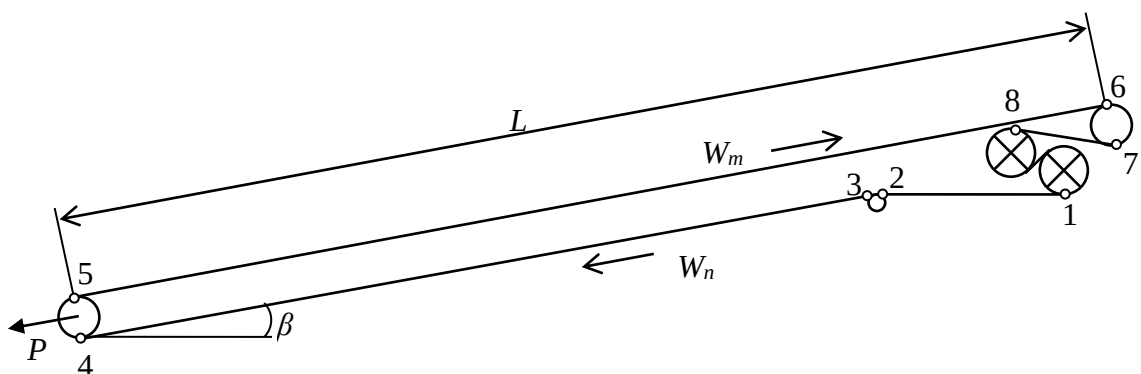
Пример 1. Подземен хоризонтален транспортър

$L=835\text{m}$



Пример 2. Лентов транспортър за транспортиране на откритка в открит рудник

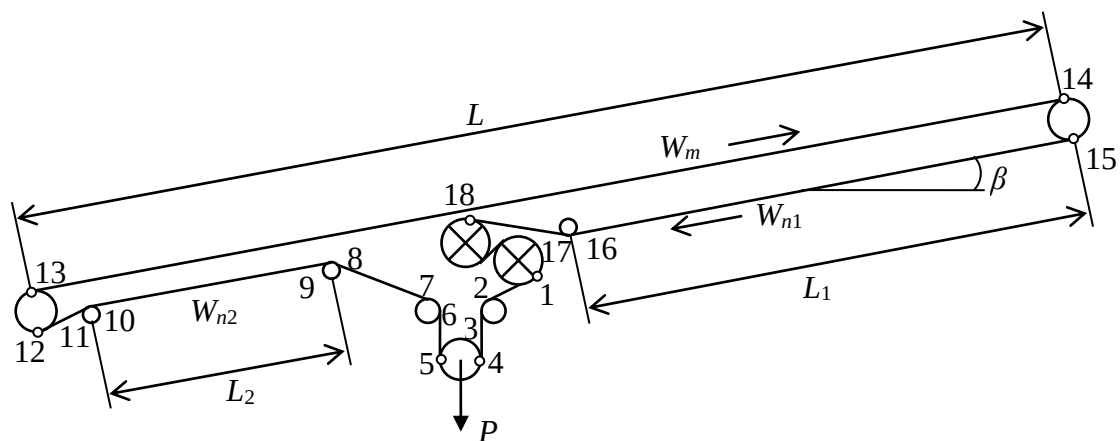
$L=800\text{ m}$ $\beta=2^\circ$



Пример 3. Подземен наклонен транспортър

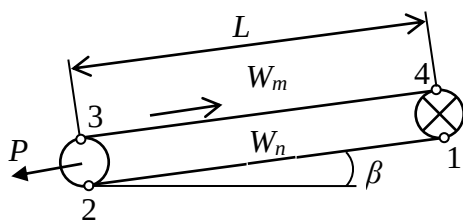
$L=230\text{ m}$ $\beta=10^\circ$

Фиг.1 Схеми на лентови транспортъри



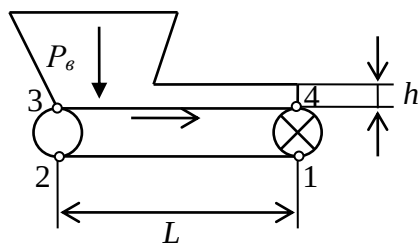
Пример 4. Лентов транспортър на насипообразувател

$L=71\text{ m}$ $L_1=48\text{ m}$ $L_2=16\text{ m}$ $\beta=18^\circ$



Пример 5. Къс лентов транспортър за транспортиране на пясък и чакъл

$L=7,5\text{ m}$ $\beta=4^\circ$



Пример 6. Лентов захранвач за разтоварване на бункери

$L=2\text{ m}$

Фиг.1 Схеми на лентови транспортъри продължение

$$W_m = L \cdot [(q_n + q_m + q_p') \cdot w_0 \cdot \cos \beta + (q_n + q_m) \cdot \sin \beta] , N$$

$$W_n = L \cdot [(q_n + q_p'') \cdot w_0 \cdot \cos \beta - q_n \cdot \sin \beta] , N$$

Необходимата мощност на задвижването $N_{\text{дв}2}$ (по втората методика) се определя по формулите:

$$N_{\text{дв}2} = \frac{W' \cdot v}{1000 \cdot \eta} , \text{ KW}$$

$$W' = W'_m + W'_n , N$$

$$W'_m = L \cdot [(q_n + q_m + q_p') \cdot c \cdot w_0 \cdot \cos \beta + (q_n + q_m) \cdot \sin \beta] , N$$

$$W'_n = L \cdot [(q_n + q_p'') \cdot c \cdot w_0 \cdot \cos \beta - q_n \cdot \sin \beta] , N$$

където:

W и W' – общо съпротивление при движение при първа и втора методика

W_m и W'_m – съпротивление в товарния клон при първа и втора методика

W_n и W'_n – съпротивление в празния клон при първа и втора методика.

Пример 2. Лентов транспортър за транспортиране на откривка в открит рудник (Станев, 1975)(фиг.1) със следните данни: $L=800\text{m}$, $\beta=2^\circ$, $Q_h=4050\text{t/h}$, $B=1,4\text{m}$, $\alpha=390^\circ$, $\mu=0,30$, $e^{\mu \cdot \alpha}=7,69$, $q_n=171\text{N/m}$, $q'_p=440\text{N/m}$, $q''_p=110\text{N/m}$, $v=4\text{m/s}$, $w_0=0,02$, $\eta=0,91$, $k_1=1,05$, $k_2=0,075$, коефициент на съпротивление в отклонителните барабани $k=1,03$, $c=1,11$, $N_{\text{дв}}=750\text{KW}$ (3x250).

$$W = S_{14} - S_1 + (S_{14} + S_1) \cdot k_2 , N$$

$$S_1 = \frac{k_1 \cdot W_n + W_m}{e^{\mu \cdot \alpha} - k_1^3 \cdot k_1^3} , N$$

$$S_{14} = k^3 \cdot k_1^3 \cdot S_1 + k \cdot k_1 \cdot W_n + W_m , N$$

Пример 3. Подземен наклонен транспортър (Спиваковски, 1955)(фиг.1) със следните данни: $L=230\text{m}$, $\beta=10^\circ$, $Q_h=250\text{t/h}$, $B=1\text{m}$, $\alpha=460^\circ$, $\mu=0,20$, $e^{\mu \cdot \alpha}=4,98$, $q_n=170\text{N/m}$, $q'_p=392\text{N/m}$, $q''_p=130\text{N/m}$, $v=1,07\text{m/s}$, $w_0=0,03$, $\eta=0,8$, $k_1=1,05$, $k_2=0,075$, $k=1,03$, $c=1,42$, $N_{\text{дв}}=65\text{KW}$.

$$W = S_8 - S_1 + (S_8 + S_1) \cdot k_2 , N$$

$$S_1 = \frac{k_1^2 \cdot W_n + k_1 \cdot W_m}{e^{\mu \cdot \alpha} - k \cdot k_1^2} , N$$

$$S_8 = k \cdot k_1^2 \cdot S_1 + k_1^2 \cdot W_n + k_1 \cdot W_m , N$$

Пример 4. Лентов транспортър от насипообразувател (Спиваковски, 1962)(фиг.1) със следните данни: $L=71\text{m}$, $L_1=48\text{m}$, $L_2=16\text{m}$, $\beta=18^\circ$, $Q_h=400\text{t/h}$, $B=1\text{m}$, $\alpha=385^\circ$, $\mu=0,20$, $e^{\mu \cdot \alpha}=3,83$, $q_n=212\text{N/m}$, $q'_p=212\text{N/m}$, $q''_p=43\text{N/m}$, $v=1,65\text{m/s}$, $w_0=0,027$, $\eta=0,81$, $k_1=1,04$, $k_2=0,075$, $k=1,03$, $c=1,95$, $N_{\text{дв}}=61\text{KW}$.

$$W = S_{18} - S_1 + (S_{18} + S_1) \cdot k_2 , N$$

$$S_1 = \frac{k^2 \cdot k_1^2 \cdot W_{n2} + k \cdot k_1 \cdot W_m + k_1 \cdot W_{n1}}{e^{\mu \cdot \alpha} - k^3 \cdot k_1^5} , N$$

$$S_{18} = k^3 \cdot k_1^5 \cdot S_1 + k^2 \cdot k_1^2 \cdot W_{n2} + k \cdot k_1 \cdot W_m + k_1 \cdot W_{n1} , N$$

$$W_{n1} = L_1 \cdot [(q_n + q_p'') \cdot w_0 \cdot \cos \beta - q_n \cdot \sin \beta] , N$$

$$W_{n2} = L_2 \cdot [(q_n + q_p'') \cdot w_0 \cdot \cos \beta - q_n \cdot \sin \beta] , N$$

$$W' = W'_m + W'_{n1} + W'_{n2} , N$$

$$W'_{n1} = L_1 \cdot [(q_n + q_p'') \cdot c \cdot w_0 \cdot \cos \beta - q_n \cdot \sin \beta] , N$$

$$W'_{n2} = L_2 \cdot [(q_n + q_p'') \cdot c \cdot w_0 \cdot \cos \beta - q_n \cdot \sin \beta] , N$$

Пример 5. Къс лентов транспортър за транспортиране на пясък и чакъл (Блок дозирования, 2008)(фиг.1) със следните данни: $L=7,5\text{m}$, $\beta=4^\circ$, $Q_h=990\text{t/h}$, $B=0,8\text{m}$, $\alpha=180^\circ$, $\mu=0,20$, $e^{\mu \cdot \alpha}=1,87$, $q_n=60\text{N/m}$, $q'_p=480\text{N/m}$, $q''_p=140\text{N/m}$, $v=2\text{m/s}$, $w_0=0,027$, $\eta=0,7$, $k_1=1,04$, $k_2=0,03$, $c=5,7$, $N_{\text{дв}}=11\text{KW}$.

$$W = S_4 - S_1 + (S_4 + S_1) \cdot k_2 , N$$

$$S_1 = \frac{k_1 \cdot W_n + W_m}{e^{\mu \cdot \alpha} - k_1} , N$$

$$S_4 = k_1 \cdot S_1 + k_1 \cdot W_n + W_m , N$$

Пример 6. Лентов захранвач за разтоварване на бункери(Smidth, 2005)(фиг.1) със следните данни: $L=2\text{m}$, $\beta=0^\circ$, $Q_h=95\text{t/h}$, $B=1,3\text{m}$, $\alpha=180^\circ$, $\mu=0,20$, $e^{\mu \cdot \alpha}=1,87$, $q_n=280\text{N/m}$, $q'_p=1450\text{N/m}$, $q''_p=0\text{N/m}$, $v=0,33\text{m/s}$, $w_0=0,05$, $\eta=0,91$, $k_1=1,04$, $k_2=0,03$, $c=9$, $N_{\text{дв}}=1,4\text{KW}$.

$$W = S_4 - S_1 + (S_4 + S_1) \cdot k_2 , N$$

$$S_1 = \frac{k_1 \cdot W_n + W_m + W_1 + W_2}{e^{\mu \cdot \alpha} - k_1} , N$$

$$S_4 = k_1 \cdot S_1 + k_1 \cdot W_n + W_m + W_1 + W_2 , N$$

$$W_1 = P_e \cdot \mu_o , N$$

$$W_2 = 1000 \cdot k_n \cdot \rho \cdot g \cdot L \cdot f \cdot h^2 , N$$

$$P_e = \frac{F_o \cdot R_x \cdot \rho \cdot g \cdot 1000}{k_n \cdot \mu_o} , N$$

$$F_o = A \cdot B \cdot 10^{-6} , \text{ m}^2$$

$$R_x = \frac{F}{2 \cdot (A + B - 2 \cdot a_{\max}) \cdot 1000} \text{ , m}$$

$$k_n = \frac{1 - \sin \varphi_o}{1 + \sin \varphi_o}$$

$$F = (A - a_{\max}) \cdot (B - a_{\max}) \text{ , mm}^2$$

$$W' = W'_m + W'_n + W'_1 + W'_2 \text{ , N , където:}$$

W_1 – съпротивление от натиска на материала в бункера, W_2 – съпротивление от триенето на материала в страничните бортове, P_e – вертикална сила на материала, $\mu_o=0,7$ – коефициент на вътрешно триене на материала, k_n – коефициент на подвижност на частиците, $\rho=0,9\text{t/m}^3$ – плътност на материала (за въглища), $f=0,5$ – коефициент на триене между материала и страничните бортове, $h=0,5\text{m}$ – височина на страничните бортове, F_o – светло сечение на бункерния отвор, $A=B=700\text{mm}$ – страни на бункерния отвор, R_x – хидравличен радиус на бенкерния отвор, $a_{\max}=40\text{mm}$ – максимална едрина на късовете от материала, $\varphi_o=35^\circ$ – ъгъл на вътрешно триене на материала, F – сечение на бункерния отвор.

В таблица 1 са обобщени резултатите от изчисленията за мощността на двигателя по двете методики ($N_{\partial e1}$ и $N_{\partial e2}$) за примерите описани по-горе. При транспортърите с дължина $L=835, 800, 230\text{m}$ и 71m (примери 1,2,3 и 4) $N_{\partial e1} > N_{\partial e2}$, като при пример 4 разликата между двете мощности е значителна. Причина за това е големия брой барабани (2 задвижващи, 5 отклонителни и 3 обръщателни) и големия наклон на транспортиране. При транспортъра с дължина $L=7,5\text{m}$ (пример 5) $N_{\partial e2} > N_{\partial e1}$, при това разликата е значителна. При лентовия захранвач (пример 6) $N_{\partial e1} = N_{\partial e2}$. Причина за това е, че съпротивленията W_1 и W_2 са много по-големи от W_m и W_n (W_1 и W_2 са еднакви и за двете методики).

Таблица 1 Резултати от изчисленията на мощността

Пример	L [m]	β [°]	брой барабани	$N_{\partial e1}$ [KW]	$N_{\partial e2}$ [KW]
1	835	0	6	66	57
2	800	2	8	679	622
3	230	10	5	56	52
4	71	18	10	50	39
5	7,5	4	2	3	8
6	2	0	2	1,27	1,27

Влияние на дължината на транспортъра, броя на барабаните и наклона на транспортиране върху изчислената мощност

Направени са изчисления на четири транспортъра:

1-схема от пример 5 ($\beta=0^\circ$) – виж фиг. 1

2-схема от пример 5 ($\beta=10^\circ$)

3-схема от пример 1 ($\beta=0^\circ$)

4-схема от пример 1 ($\beta=10^\circ$)

За всеки транспортър мощността се определя при дължини $L=1000, 500, 100, 50, 20$ и 10m . Приети са следните изходни параметри (и за четирите транспортъра): $Q_h=625\text{t/h}$, $B=0,8\text{m}$, $\mu=0,2$, $q_n=110\text{N/m}$, $q'_p=125\text{N/m}$, $q''_p=50\text{N/m}$, $v=2,5\text{m/s}$, $w_o=0,03$, $\eta=0,8$. Резултатите от изчисленията са дадени в таблици 2,3,4 и 5.

Таблица 2 Схема от пример 5 $\beta=0^\circ$

L [m]	1000	500	100	50	20	10
$N_{\partial e1}$ [KW]	114	57	11	5	2	1
$N_{\partial e2}$ [KW]	105	60	18	11	6	4
c	1,05	1,2	1,8	2,2	3,2	4,5

Таблица 3 Схема от пример 1 $\beta=0^\circ$

L [m]	1000	500	100	50	20	10
$N_{\partial e1}$ [KW]	128	64	12	6	2	1
$N_{\partial e2}$ [KW]	105	60	18	11	6	4
c	1,05	1,2	1,8	2,2	3,2	4,5

Таблица 4 Схема от пример 5 $\beta=10^\circ$

L [m]	1000	500	100	50	20	10
$N_{\partial e1}$ [KW]	532	266	53	26	10	5
$N_{\partial e2}$ [KW]	473	244	54	29	13	8
c	1,05	1,2	1,8	2,2	3,2	4,5

Таблица 5 Схема от пример 1 $\beta=10^\circ$

L [m]	1000	500	100	50	20	10
$N_{\partial e1}$ [KW]	686	343	68	34	13	6
$N_{\partial e2}$ [KW]	473	244	54	29	13	8
c	1,05	1,2	1,8	2,2	3,2	4,5

От решените примери се вижда, че при определена дължина на транспортъра L_p (равновесна) $N_{\partial e1} = N_{\partial e2}$. При $L > L_p$ $N_{\partial e1} > N_{\partial e2}$, а при $L < L_p$ $N_{\partial e2} > N_{\partial e1}$.

При увеличаване броя на барабаните L_p намалява. Това се вижда при сравняване на таблица 2 (2 барабана) ($L_p > 500\text{m}$) и таблица 3 (6 барабана) ($L_p < 500\text{m}$) и при сравняване на таблица 4 (2 барабана) ($L_p = 100\text{m}$) и таблица 5 (6 барабана) ($L_p = 20\text{m}$). Причина за това е, че при увеличаването на броя на барабаните $N_{\partial e1}$ се увеличава, а $N_{\partial e2}$ не се изменя.

При увеличаване ъгъла на наклона на транспортиране L_p намалява. Това се вижда при сравняване на таблица 2 ($\beta=0^\circ$) ($L_p \approx 600\text{m}$) и таблица 4 ($\beta=10^\circ$) ($L_p = 100\text{m}$) и при сравняване на таблица 3 ($\beta=0^\circ$) ($L_p \approx 400\text{m}$) и таблица 5 ($L_p = 20\text{m}$). Причина за това е, че при изчисляването на W'_m и W'_n коефициентът с влиза само в първия член на формулите (съпротивление от триене), а вторият член (съпротивление от наклона) не се променя.

Предлагана методика за изчисляване

При методика 1 не се отчита влиянието на дължината на транспортъра върху коефициента на съпротивление при движение. При методика 2 не се отчита броя на барабаните и тяговия фактор $e^{\mu \cdot \alpha}$. Затова предлагам методика, която да отчита всички изброени по-горе фактори (методика 3).

Известно е, че теглителната сила предавана от задвижващите барабани трябва да е по-голяма от общото съпротивление при движение:

$$F > W$$

Или можем да напишем $F = k_m \cdot W$, където:

k_m – коефициент на резерв от триеща сила ($k_m=1,2$)

От друга страна $F = S_{изл} \cdot (e^{\mu \cdot \alpha} - 1)$. Следователно:

$$S_{изл} = \frac{k_m \cdot W}{e^{\mu \cdot \alpha} - 1}$$

Методиката е следната:

1. Определят се съпротивленията в товарния и празния клон W'_m и W'_n по формулите от методика 2 (отчита се коефициента на допълнително съпротивление с)
2. Определя се общото съпротивление при движение според методика 2

$$W' = W'_m + W'_n$$

3. Определя се силата в лентата в точката на излизане от задвижващия барабан

$$S_{изл} = \frac{k_m \cdot W'}{e^{\mu \cdot \alpha} - 1}$$

4. Определя силата в лентата в точката на влизане в задвижващия барабан $S_{вл}$ според точковия метод (при известна сила $S_{изл}$)

5. Определя се общото съпротивление според методика 1

$$W = S_{вл} - S_{изл} + k_2 \cdot (S_{вл} - S_{изл})$$

6. Определя се мощността на двигателя

$$N_{дв3} = \frac{W \cdot v}{1000 \cdot \eta}$$

В таблица 6 са дадени резултатите от изчисленията на мощността на двигателя за примерите разгледани по-горе по трите методики. В последната колона е дадена инсталираната мощност.

Таблица 6 Резултати от изчисленията на мощността по трите методики

Пример	$N_{дв1}$ [KW]	$N_{дв2}$ [KW]	$N_{дв3}$ [KW]	$N_{дв}$ [KW]
1	66	57	73	80
2	679	622	718	750
3	56	52	63	65
4	50	39	54	61
5	3	8	10	11
6	1,27	1,27	1,27	1,4

От таблицата се вижда, че при методика 3 се получават най-близки стойности до инсталираната мощност.

Литература

- Блок Дозирования. Техническое описание и инструкция эксплуатации. Москва, 2008
- Гетопанов, В.Н., Чугреев, Л.И.. Горные машины и комплексы. Недра, Москва, 1991
- Деевски, С.М., Кузманов, А.И.. Курсово проектиране по руднични транспортни машини. Техника, София, 1982
- Спиваковски, А.О.. Рудничен транспорт. Наука и изкуство, София, 1955
- Спиваковски, А.О.. Горные транспортные машины. Атлас конструкции, 1962
- Станев, Б.. Транспортъори лентови. Изчисляване. БУД Интрансмаш, 1975
- Bahr, J. Gurtbandforderer im Bergbau= Bergakademie Freiberg, 1959
- F.L.Smidth. Dosimat feeder. Basic data for project planning, 2005

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

СРАВНИТЕЛНА ОЦЕНКА НА СПЕЦИАЛНИТЕ ЛЕНТОВИ ТРАНСПОРТЬОРИ

Христо Шейретов

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

РЕЗЮМЕ. Направен е обзор на най-разпространените специални лентови транспортёри, принцип на действие и приложение. Определена е производителността на тези транспортёри при еднаква широчина на лентата. Направено е сравнение на класическите лентови транспортёри с въжено-лентовите, тръбните и аеро транспортёри, а също сравнение на тези с горна притискаща лента и транспортёрите с кофи.

COMPARISON OF THE SPECIAL BELT CONVEYORS

Hristo Sheiretov

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

ABSTRACT. A review of the special belt conveyors, the working principle and the application is made. The output of these conveyors at constant belt width is determined. A comparison of the trough conveyors toward the cable belt, pipe and aero conveyors and a comparison of the sandwich (HAC) toward the pocketlift conveyors is made.

Увод

Към специалните лентови транспортёри спадат:

1. Лентови транспортёри за големи дължини на транспортиране

- Въжено-лентови транспортёри (cable belt conveyors);
- 2. Лентови транспортёри за преодоляване на криви с малък радиус**
- Тръбни лентови транспортёри (pipe conveyors);
- Лентови транспортёри с висеща лента (Sicon conveyors);

3. Лентови транспортёри за големи наклони

- Лентови транспортёри с горна притискаща лента (sandwich conveyors);
- Лентови транспортёри с кофи (pocketlift conveyors);

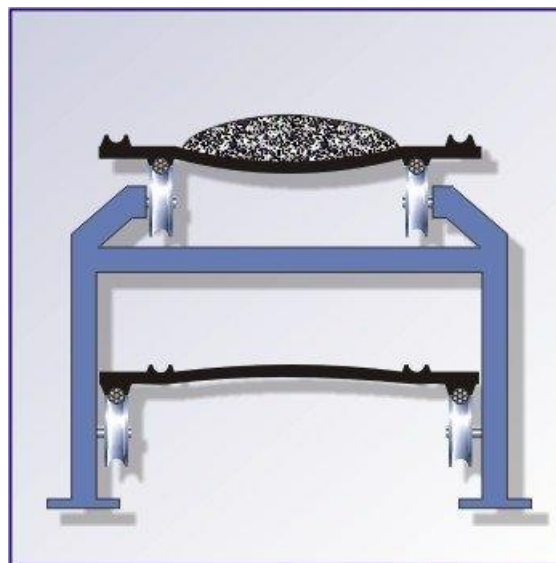
4. Други лентови транспортёри

- Лентови транспортёри на въздушна възглавница (air supported conveyors, аеро conveyors);

При въжено-лентовите транспортёри (ВЛТ) (фиг.1) материалът се транспортира с транспортна лента, която лежи свободно върху две теглителни въжета. В лентата са вулканизирани стоманени пластини, които и придават напречна устойчивост. Въжетата се поддържат от шайби, облицовани с гума. ВЛТ се използват като магистрални стационарни транспортёри за транспортиране на въглища и руда от рудника до потребителя (Дьяков, 1982; Cable belt, Pengelly, 1998; PVL conveyor; Thomson).

При тръбните лентови транспортёри (ТЛТ) (фиг.2) материалът се транспортира в лента огъната като тръба, която се изправя при задвижващия и обръщателен

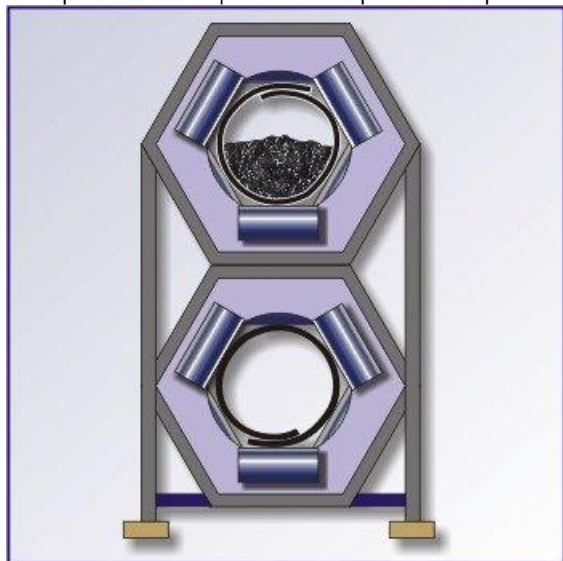
барабан. Изправянето и огъването на лентата се осъществява от последователно наредени ролки с различен наклон. ТЛТ се използват в циментовата промишленост (за транспортиране на варовик, цимент, клинкер), в химическата промишленост (за транспортиране на отровни вещества) и при електроенергетическите централи (за транспортиране на въглища, пепел, гипс и варовик) (Alsprough, 2004; Fletcher; Flexopipe, 1989; Rollgurt; Wiedenroth, 2006).



Фиг.1 Въжено-лентов транспортёор

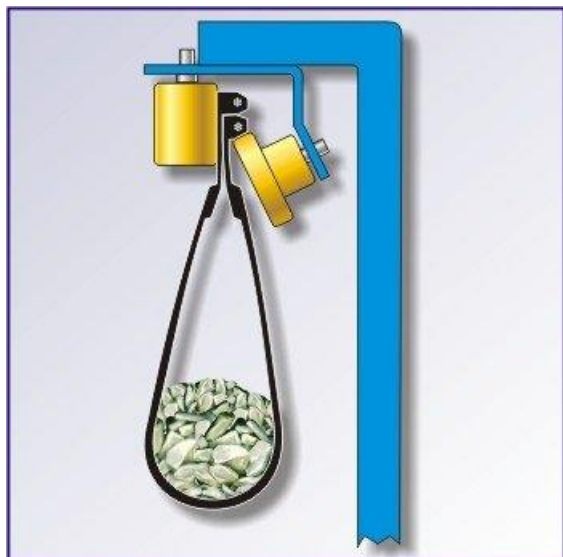
При лентовите транспортёри с висеща лента (ЛТВЛ) (фиг.3) материалът се транспортира в специална лента, в горните краища на която са вулканизирани стоманени

въжета. Лентата се движи върху вертикални ролки, а затварянето се осъществява от хоризонтални ролки.



Фиг.2 Тръбен лентов транспортър

ЛТВЛ се използват за транспортиране на скъпи абразивни материали (кимберлит, диаманти)(СКИТ).

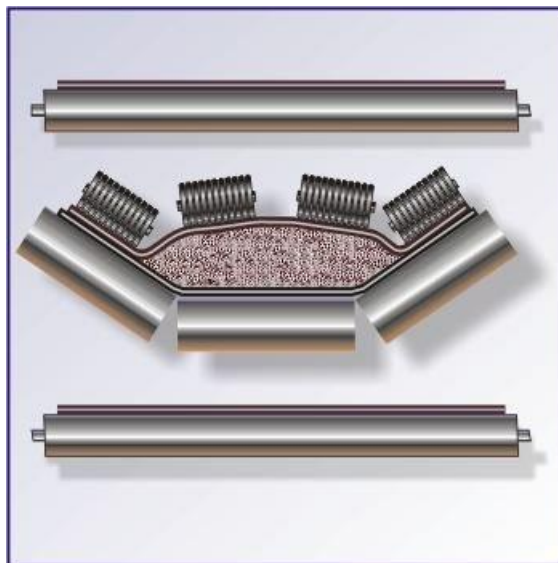


Фиг.3 Лентов транспортър с висеща лента

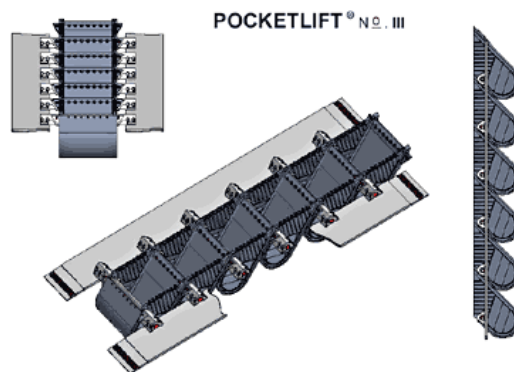
При лентовите транспортъри с горна притискаща лента (ГПЛ) (фиг.4) материалът се транспортира притиснат между две ленти. Притискащата сила се осъществява от ролки с пружини. ГПЛ се използват за наклонено и вертикално транспортиране на насипни материали в минната промишленост и в строителството (наклонен подемен ГПЛ в открит рудник, вертикален ГПЛ в шахта на подземен рудник, вертикален ГПЛ за натоварване на бункери, наклонен в ръката на роторни багери) (НАС conveyors; Terra Nova; Sonda,1991).

При лентовите транспортъри с кофи (ЛТК) (фиг.5) материалът се транспортира в гумени кофи. Кофите са закрепени върху стоманени греди, които са разположени между две гумено-въжени ленти. ЛТК се използват най-често за вертикално транспортиране на материали (натоварване на бункери, роторни разтоварачи на кораби, вертикални шахти за изнасяне на материала при

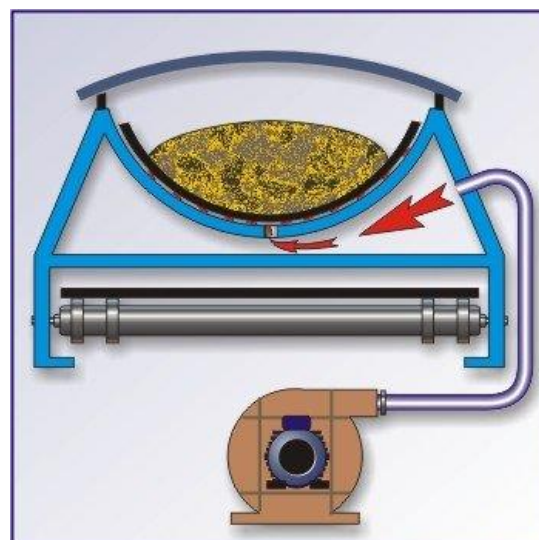
строителство на подземни тунели) (Alsprough,2004; Paelke,2000; Pocketlift 2004).



Фиг.4 Транспортър с горна притискаща лента



Фиг.5 Лентов транспортър с кофи



Фиг.6Лентов транспортър на въздушна възглавница

При лентовите транспортъри на въздушна възглавница (ЛТВВ) (фиг.6) материалът се транспортира върху транспортна лента, която се поддържа от състен въздух, излизащ от отвори на улея под нея. ЛТВВ са намерили приложение в минната, хранително-вкусовата и

химическата промишленост (за транспортиране на въглища, захар, химикали и др..) (Васильев, 1991; SKIT).

Целта на настоящето изследване е да се направи сравнение между различните видове транспортъори. Ще бъдат направени следните сравнения:

1. Класически лентов транспортъор (КЛТ) с ВЛТ. Ще бъде разгледан пример на два транспортъора с голяма дължина.
2. КЛТ с ТЛТ. Ще бъде разгледан пример при трасе изискващо завой с малък радиус.
3. ГПЛ с ЛТК при наклонено и вертикално транспортиране на материал.
4. КЛТ с ЛТВВ.

Сравнение на производителността на различните видове транспортъори

1. Въжено-лентов транспортъор (Дьяков, 1982)

$$Q = K_n \cdot v \cdot B^2, \text{ m}^3/\text{h}, \text{ където:}$$

K_n – коефициент ($K_n=270$ при въглища);

v [m/s] – скорост на лентата;

B [m] – ширина на лентата.

2. Тръбен лентов транспортъор (Flexoripe)

$$Q = 3600 \cdot v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \psi, \text{ m}^3/\text{h}, \text{ където:}$$

D [m] – диаметър на тръбата ($D=0,25\text{m}$ при $B=1\text{m}$);

ψ – коефициент на запълване ($\psi=0,8$).

3. Лентов транспортъор с горна притискаща лента (Дьяков, 1982)

$$Q = 3,6 \cdot k_n \cdot k_v \cdot v \cdot B^2, \text{ m}^3/\text{h}, \text{ където:}$$

k_n – коефициент отчитащ сечението на материала;

$$k_n = 43,6 + 160 \cdot \text{tg} \delta \text{ при } \gamma = 20^\circ;$$

δ [°] – ъгъл на откоса на материала при движение;

γ [°] – ъгъл на наклона на страничните ролки;

k_v – коефициент отчитащ намаляването на производителността от притискащите ролки ($k_v=0,7$).

4. Лентов транспортъор с кофи (Pocketlift, 2004)

$$Q = 3600 \cdot v \cdot \frac{V}{a} \cdot \psi, \text{ m}^3/\text{h}, \text{ където:}$$

V [m³] – обем на кофите ($V = 0,073 \text{ m}^3$ при $B=1\text{m}$);

B [m] – ширина на кофите;

a [m] – разстояние между кофите ($a=0,5\text{m}$ при $B=1\text{m}$);

ψ – коефициент на запълване на кофите ($\psi=0,7$).

5. Класически лентов транспортъор (Кузманов, 1986)

$$Q = 3,6 \cdot k_n \cdot v \cdot B^2, \text{ m}^3/\text{h}$$

Ще определим производителността на транспортъорите при еднаква ширина ($B=1\text{m}$) и еднаква скорост ($v=1\text{m/s}$) на лентата. Прието е още: вид на транспортирания материал-въглища, $\delta=15^\circ$ и $\gamma=20^\circ$. Резултатите от изчисленията са дадени в табл. 1.

Таблица 1 Производителност на различните видове транспортъори при $B=1\text{m}$ и $v=1\text{m/s}$

Вид	ЛТК	КЛТ	ВЛТ	ГПЛ	ТЛТ
Q [m³/h]	370	310	270	220	150

Сравнение на класическите лентови транспортъори с въжено-лентовите

Предимства на ВЛТ спрямо КЛТ:

1. Възможност за транспортиране на по-голяма дължина. Причина за това е, че лентата е по-малко натоварена, тъй като опъновите сили се поемат от въжетата. Най-дългият ВЛТ в момента е 30,4 km (SKIT), а най-дългия КЛТ – 15,6 km (Thomson);

2. По-лека и евтина транспортна лента. Така например при дължина на транспортъора $L=15\text{km}$ и производителност $Q_n=1800\text{t/h}$, линейното тегло на лентата е $q_n=57\text{N/m}$ при ВЛТ спрямо $q_n=176\text{N/m}$ при КЛТ. (Thomson);

3. По-малка металоємкост при еднакви L и Q_n . Това се дължи на по-малкия брой ролкови опори при ВЛТ. Според (Thomson) на 1000 ролкови опори при КЛТ се падат 76 при ВЛТ.

4. По-малък коефициент на съпротивление при движение. Причина за това е по-малкото провисване на лентата между опорите и по-малките сили на триене в ролките;

5. По-леки ролкови опори. Според (Thomson) ако теглото на ролковите опори в товарния клон на КЛТ е $G'_p=100\text{N}$, то при ВЛТ – $G'_p=76\text{N}$;

6. По-малък разход на енергия. Това се дължи на горните четири фактора (т.2, т.3, т.4 и т.5). Според (Thomson) при $L=9900\text{m}$, денивелация $H=15\text{m}$, $Q_n=2000\text{t/h}$ и $v=4,18\text{m/s}$ при КЛТ необходимата мощност на задвижване е $N_{\delta\epsilon}=1650\text{KW}$, а при ВЛТ- $N_{\delta\epsilon}=1470\text{KW}$.

7. Задвижващата станция е на разстояние от транспортната лента. Това улеснява обслужването и намалява замърсяването и.

Недостатъци на ВЛТ спрямо КЛТ:

1. По-сложна задвижваща и опъвателна станция. Поради наличието на две опъвателни устройства (за всяко въже) при ВЛТ, опъвателната станция заема повече място;

2. По-малка производителност при еднаква ширина на лентата (виж табл.1). В табл.1 Q е изчислено при $\gamma=20^\circ$. При по-голям ъгъл ($\gamma=30^\circ$ или 35°), производителността при КЛТ ще се увеличи още повече;

3. Ограничение на максималния размер на късовете от материала. При КЛТ $a_{\text{max}}=500\text{mm}$, докато при ВЛТ – $a_{\text{max}}=300\text{mm}$;

4. По-големи експлоатационни разходи. В (Maton, 2009) е направено сравнение на два инсталирани транспортъора с еднаква проидводителност, денивелация, скорост на лентата и транспортиран материал ($L=10213\text{m}$,

$Q_n=2200\text{t/m}^3$, $H=5,6\text{m}$, $v=4,1\text{m/s}$, желязна руда с плътност $\rho=2,2\text{t/m}^3$). При ВЛТ лентата е сменена след 10 години., а при КЛТ след 15. Освен това при ВЛТ въжетата са сменени след 6 години.

Сравнение на класическите лентови транспортъори с тръбните

Предимства на ТЛТ спрямо КЛТ:

1. Материалът не се влияе от атмосферните условия (вятър, дъжд, влага, сняг);
2. Не се запрашава атмосферата;
3. Няма достъп на отровни вещества до околната среда;
4. По-малък радиус на кривите При ТЛТ минималния радиус на хоризонтален завой е $R=30^\circ$ (Flexopipe; Rollgurt), а при КЛТ $R=260^\circ$ (СКИТ);
5. По-голям наклон на транспортиране. При ТЛТ $\beta=30^\circ$ (Flexopipe, Rollgurt), докато при КЛК – $\beta=18^\circ$;
6. По-малки разходи за почистване на лентата;
7. По-малък брой задвижващи и опъвателни станции и по-малко претоварни устройства. В (СКИТ) е дадено сравнение на две транспортни системи. Първата се състои от 2 КЛТ разположени под прав ъгъл, всеки с дължина $L=250\text{m}$ и денивелация съответно $H=4$ и 15m . Втората се състои от един ТЛТ с дължина $L=470\text{m}$, и денивелация $H=15\text{m}$, които прави завой с радиус $R=80\text{m}$. Предимства на втората система е по-малката дължина на транспортъора (в сравнение със сумарната на двата КЛТ), липсата на претоварна станция, по-малкия брой барабани (2 срещу 4), по-малкия брой задвижващи станции (1 срещу 2) и по-малкия брой опъвателни станции (1 срещу 2);
8. Удобни са за транспортиране на материали в двете посоки. В (Wiedenroth, 2006) са дадени примери на такива системи (между циментов завод и пристанище в едната посока се транспортира цимент, а в другата-въглища и варовик).

Недостатъците на ВЛТ спрямо КЛТ са:

1. По-малка производителност при еднакво широчина на лентата (виж табл.1);
2. По-малка едрина на материала ($a_{\max}=400\text{mm}$ при ТЛТ срещу 500mm при КЛТ);
3. По-голяма металоемкост (по-голям брой ролки);
4. Допълнителни съпротивления при преминаването на лентата от коритообразно в кръгло сечение и обратно.
5. Допълнителни съпротивления при хоризонталните и вертикални завои. За примера разгледан по-горе (в т.7 от предимствата), необходимата задвижваща мощност при двете системи е приблизително еднакъв, въпреки, че ТЛТ е с по-малка дължина и по-малка денивелация.

Разновидност на ТЛТ са ЛТВЛ. Те могат да преодоляват криви с много малък радиус ($R=1\text{m}$), но имат малка производителност (до $400\text{m}^3/\text{h}$) и малък размер на късовете материал ($a_{\max}=70\text{mm}$) (СКИТ).

Сравнение на транспортъорите с горна притискаща лента и лентовите транспортъори с кофи

Еднакви параметри и за двата вида транспортъори са: максимален размер на късовете материал $a_{\max}=100\text{mm}$, скорост на лентата $v=2-6\text{m/s}$ и ъгъл на наклона на транспортиране $\beta=30-90^\circ$.

Предимства на ЛТК спрямо ГПЛ:

1. По-голяма височина на транспортиране. Максималната височина при ЛТК е 500m (Pocketlift), а при ГПЛ е 90m (HAC conveyors);
2. По-малка собствена маса и по-малък разход на енергия.

Недостатъци на ЛТК спрямо ГПЛ:

1. По-малка производителност. При ЛТК Q достига $6000\text{m}^3/\text{h}$, докато при ГПЛ – $12000\text{m}^3/\text{h}$. (Pocketlift; HAC conveyors). Причина за това е по-голямата широчина на лентата B при ГПЛ (до 3m), срещу $1,2\text{m}$ при ЛТК (при тях това е широчината на кофите). При еднаво B обаче, ЛТК имат по-голяма производителност (виж табл.1);
2. По-трудно центриране на лентата.

Сравнение на класическите лентови с тези на въздушна възглавница

Предимства на ЛТВВ спрямо КЛТ:

1. По-лека и евтина транспортна лента;
2. Не се натрошава материалът при транспортиране;
3. По-малка маса и металоемкост;
4. По-голям наклон на транспортиране (до 28° при ЛТВВ спрямо 18° при КЛТ) (Васильев, 1991).

Недостатъци на ЛТВВ спрямо КЛТ:

1. По-голям разход на енергия (до $0,8\text{KW}$ на 1m дължина) (Васильев, 1991);
2. Загуба на устойчивост на лентата при неравномерно натоварване;
3. По-малка производителност (до $600\text{m}^3/\text{h}$);
4. По-малка дължина на транспортиране (до 500m).

Литература

- Васильев, К.А. Транспортные устройства и склады. Недра, Москва, 1991
- Дьяков, В.А., Шахмейстер, Л.Г., В.Г.Дмитриев. Ленточные конвейеры в горной промышленности. Недра, Москва, 1982
- Кузманов, А.И.. Транспорт в обогатителните фабрики. Техника, София, 1986
- Alsprough, M.A.. Latest developments in belt conveyor technology. Las Vegas, Mine Expo 2004
- Cable Belt Brochure-Metso Minerals – проспект
- СКИТ – The bulk materials handling knowledge base
- Fletcher, A.E., E.L. Toit. Environmentally friendly enclosed conveyor systems.
- Flexopipe – from conveyor belt to conveyor pipe. Scholtz GmbH. Проспект, 1989

HAC conveyors. Continenyal conveyor & equipment co0mpany – проспект
Maton, A.E.. Overland conveyors: cable or trough belt. Bulk Solids Handling, 3/2009
Paelke, J.W.. Pocketlift – proved performance in Big Apple tunnel project. Bulk Solids Handling, 3/2000
Pengelly, R.J.. World's largest curved conveyor moves bauxite at Orissa project. Engineering & Mining Journal, 6/1998
Pocketlift – передовая система крутонаклонный и вертикальной транспортировки. Metso minerals, проспект, 2004
PVL conveyor. Cable Belt Conveyor &Ltd – проспект

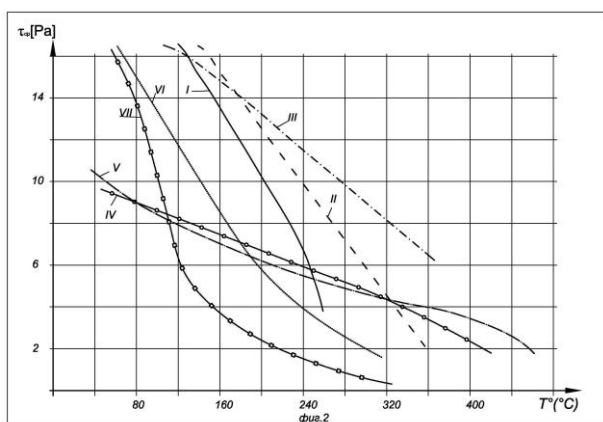
Rollgurt conveyor. A new development of continental and PWH. PWH anlagen systeme – проспект
Sonda, A.P.. Vertical conveyor solves space problem. Coal handling & transportation, 11/1991
Terra Nova Technologies. Innovations in ore and waste conveying
The evolution of the pipe conveyor. International bulk handling technology BV
Thomson, I.M.. Development of the cable belt conveyor. SAIMH
Wiedenroth, J.. Pipe conveyor applications for double load transport. Bulk Solids Handling, 7/2006

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

експериментални данни. Тук се прави опит да се отстранят тези неудобства и аналитично определят съответните температури, брой и сечения на щифтовете от леснотопими сплави.



Фиг. 16



Аналитично определяне сечението и броя на щифтовете

Срязващото напрежение в предпазните щифтове, се определя по израза [3]:

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{2M_{\text{с}}}{D \cdot S_{\text{щ}} \cdot n}, \text{ Pa}; \quad (1)$$

където $\tau_{\text{ср}}$ е срязващо напрежение, N/m²;

D - диаметър на залагане на щифтове, m;

$S_{\text{щ}}$ - сечението на щифтовете, m²;

n - брой на щифтовете;

$M_{\text{с}}$ - моментът на съединителя, Nm.

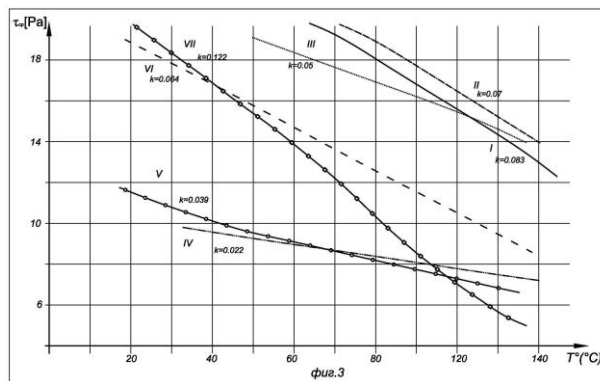
Температурния диапазон, в който работи ЦСС е от 0 до 140°C. Изменението на $\tau_{\text{ср}}$ в зависимост температурата T° в тези граници е показана на фиг.3. Вижда се, че всички криви могат добре да се апроксимират в този диапазон от прави линии, чрез израза:

$$\tau_{\text{ср}} = \tau_{20} - K_i (T_{\text{ср}} - 20^\circ), \text{ Pa}; \quad (2)$$

където τ_{20} е якостта на срязване на щифта при 20°C, Pa;

K_i - коефициент на наклона на съответната сплав, Pa/K°;

$T_{\text{ср}}$ - температурата в мястото на срязване на щифта, K°.



В таблица 1 са посочени стойностите $\tau_{\text{ср}}$ и K_i за τ_{20} представените в [3] сплави, изчислени с методите на статистиката.

Таблица 1

№ сплав	I	II	III	IV	V	VI	VII
τ_{20} Pa	23,9	24	20,6	10,1	11,2	18,8	19,6
K_i Pa/K°	0,0835	0,07	0,05	0,022	0,039	0,064	0,122

След като зависимост (2) се замести в (1) и се реши спрямо S се получава:

$$S_{\text{щ}} = \frac{2M_{\text{с}}}{Dn[\tau_{20} - K_i (T_{\text{ср}} - 20)]}, \text{ m} \quad (3)$$

За оразмеряване на защитата е необходимо да се определи температурата в мястото на срязване на щифта. Тя зависи от два фактора – интензивността на нагряването (топлинния поток) и разпределението на температурата в предпазния щифт.

Топлинен поток през мантията

Стойността на топлинния поток през мантията се определя по два фактора – моментът предаван чрез мантията (Mm) и коефициентът на потокоразпределение между мантията и сачмения пълнеж.

Моментът предаван през мантията се определя от количеството сачмен пълнеж и съотношението между активния радиус Ra и активната широчина ℓ_a на мантията. Съгласно [4] моментът на ЦСС предаван през мантията (Mm) се определя по израза:

$$M_{\text{м}} = 6\omega_{\text{н}}^2 \cdot \rho \cdot f \cdot \ell_a \cdot R_a^4 \left[\frac{\pi}{9} (1 - K_2^3) - \frac{K_1}{2} (1 - K_2^2) \right], \text{ Nm} \quad (4)$$

Където: $\omega_{\text{н}}$ - ъгловата честота на двигателя, rad/s;

ρ - плътност на пълнежа, kg/m³;

f - коефициента на триене;

$$K_2 = \frac{R_1}{R_a}; K_1 = \frac{b_{\text{л}}}{R_a} - \text{коефициенти};$$

R_1 - вътрешния радиус на пълнежа, m;

$b_{\text{л}}$ - широчината на лопатката, m;

Исходния въртящ момент M_c представлява сумата от този формиран в мантията и този в страничните капаци M_k :

$$M_c = M_m + M_k, \text{ Nm} \quad (5)$$

Тук се въвежда коефициентът K' , който представлява отношението на развивания от капациите момент M_k , към този на целия съединител M_c .

$$K' = \frac{M_k}{M_c} \quad (6)$$

При запълване на камерите със сачми, които определят K_i от 0,4 до 0,9, K може да се определи по емпиричния израз:

$$K' = 0,2342 - 0,218K_i \quad (7)$$

При известен изходен въртящ момент M_c и коефициент K' , моментът предаван чрез мантията е:

$$M_m = \frac{M_c}{1 + K'}, \text{ Nm}; \quad (8)$$

Топлинният поток през мантията се определя по израз:

$$q_m = \alpha_{\text{тп}} \frac{M_m \omega_n}{S_m}, \text{ W/m}^2 \quad (9)$$

където $\alpha_{\text{тп}}$ е коефициентът на потокоразпределение;

S_m – активната повърхност на мантията, m^2 .

Коефициентът на потокоразпределение може да се определи по предложената от Чичинидзе зависимост:

$$\alpha_{\text{тп}} = \left\{ 1 + \frac{h_n \lambda_m}{h_m \lambda_n} \left[\frac{F_{\text{ом}}}{F_{\text{оп}}} - \frac{F_{\text{ом}} - F_{\text{оп}}}{3F_{\text{ом}}^2} \right] \right\}^{-1}$$

$$\left[\frac{1}{3} \ln \left(\frac{\left(\frac{1}{3} - A \right) \left(\frac{1}{3} - F_{\text{ом}} + A \right)}{\left(\frac{1}{3} + A \right) \left(\frac{1}{3} - F_{\text{ом}} - A \right)} \right) - A \ln \frac{3F_{\text{ом}}}{2} \right] \quad (10)$$

$$A = \sqrt{F_{\text{ом}}^2 + \frac{1}{9}}$$

където $F_{\text{оп}}$ и $F_{\text{ом}}$ са съответно критерият на Фурие за пълнежа и мантията;

$$F_{\text{оп}} = \frac{a_n \cdot t_n}{h_n}; \quad F_{\text{ом}} = \frac{a_m \cdot t_n}{h_m}$$

h_n и h_m – дебелина на пълнежа и мантията, m ;

λ_n и λ_m – топлопроводимостта на пълнежа, W/mK° ;

$$a_n \approx 6,77 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

t_n – времето на нагряване, s .

За ориентировъчни пресмятания може да се приеме $\alpha_{\text{тп}} = 0,3 \div 0,4$.

Температура в мястото на залягане на щифта

Температурата в мястото на залягане на щифта при всички случаи се различава от максимално достиганата температура, която за ЦСС това е зоната на реалния фрикционен контакт, т.е. вътрешната повърхност на мантията.

Причина за това е:

1. Дълбочината, на която може да се заложи щифта е ограничена от якостни съображения.

2. Мястото където се залагат предпазните щифтове не винаги съвпада с топлинно най-натоварената зона.

Температурата в мантията е най-висока в средата и, намалява към капациите. Когато защитата се залага в края на мантията или в специално направено за целта удължение на последната, то следва да се очакват по-големи температурни разлики.

Изменението на температурата в мантията на ЦСС и в цялата му конструкция във всички режими на работа може да се определи с предложените в [1] числени методи и съответната програма. Това е свързано с известни затруднения, произтичащи от наличието на съответна изчислителна техника и внасянето на значително количество данни. Този начин остава единствен, за определяне на температурата в случаите на залагане на защитата отдалечена от най-нагрятата точка.

При разположение на защита близо до средата на мантията (вж. фиг.1) може да се намери аналитично решение. Изменението на температурата $T(x, t)$ в мантията по нейната дебелина h и във времето (t) се определя по израз [1]:

$$T(x, t) = T_0 + \frac{q_m h_m}{\lambda_m} \left[F_{\text{ом}} - \frac{x}{h_m} + \frac{x^2}{2h_m^2} + \frac{1}{3} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos[\mu_n \left(1 - \frac{x}{h} \right)] \exp(-\mu_n^2 F_0) \right]$$

$$\mu_n = \pi_n; \quad A_n = (-1)^{n+1} \frac{2}{\mu_n^2}; \quad F_{\text{ом}} = \frac{a_m t}{h_m^2}$$

При $F_{\text{ом}} > 0,5$:

$$T(x, t) = T_0 + \frac{q_m h_m}{\lambda_m} \left(F_{\text{ом}} - \frac{x}{h_m} + \frac{x^2}{2h_m^2} + \frac{1}{3} \right), \text{ K}^\circ; \quad (11)$$

където q_m е топлинния поток през мантията, W/m^2 ;

h_m – дебелината на мантията, m ;

λ_m – топлопроводимостта на мантията W/m K° ,

$F_{\text{ом}}$ – критерии на Фурие за мантията; $F_{\text{ом}} = \frac{q_m}{h_m^2}$

a_m – топлопроводно число, m/s^2 ;

t – текущото време, s ;

x – разстоянието в мантията от активната зона, m

T_0 – началната температура, C°

Направеното до тук изследване даде възможност за определяне на температурата по зависимост (11). За стойности на критерия на Фурие $F \geq 0,5$ и дълбочини на залагане на щифта, температурата се определя по израз:

$$T(\ell, t_g) = T_0 + \frac{q_m h_m}{\lambda_m} \left(\frac{a_m t_g}{h_m^2} - \frac{\ell}{h_m} + \frac{\ell^2}{2h_m^2} + \frac{1}{3} \right), \text{ K}^\circ; \quad (12)$$

където t_g е времето, за което температурата достига допустимата стойност.

От нея лесно може да се определи времетраенето t_g , за което нагрятата вътрешна повърхност ($x=0$) достига допустимата температура $T_{\text{доп}}$.

$$t_g = \frac{\lambda_m h_m}{q_m a_m} (T_{\text{доп}} - T_o) - \frac{h_m^2}{3a_m}, \text{ s} \quad (13)$$

След определяне на времето t_g се пресмята температурата в мястото на залагане на щифта $T_{\text{щ}}$.

$$T_{\text{щ}}(\ell, t_g) = T_o + \frac{q_m h_m}{\lambda_m} \left(\frac{a_m t_g}{h_m^2} - \frac{\ell}{h_m} + \frac{\ell^2}{2h_m^2} + \frac{1}{3} \right), \text{ K}^\circ; \quad (14)$$

Температура в мястото на срязване на предпазния щифт

Температурата в мястото на срязване на щифта, зависи от: условията на нагряване, контактуване, охлаждана и топлофизическите параметри на сплавта.

От зависимост (12) се вижда, че изменението на температурата в мястото на залагане предпазния щифт, при посочените условия е линейна функция спрямо времето.

Контактуването на щифта в мантията и водимата част определят сложни гранични условия, при което точното описание на топлообмена се извършва в триразмерен вид, а решението му е възможно само чрез числени методи.

Аналитично решение може да се получи при следните допускания:

1. Нагряването на предпазния щифт се извършва само от челната му страна.
2. Частта от щифта, заложен в водимата част е термоизолирана.

При тези условия измененията на температурата във времето и по дължината на щифта се определя по зависимостта:

$$T(\eta, t) = T_o + \frac{b\ell_{\text{щ}}}{a_2} \left[F_{02} - \frac{1}{B_i} + \frac{\eta}{1} + \frac{\eta^2}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{\mu_n^2} \cos[\mu_n(1-\eta)] \exp(-\mu_n^2 F_{02}) \right], \text{ K}^\circ; \\ F_{02} = \frac{\alpha_2}{\ell_{\text{щ}}} t; \quad B_i = \frac{\alpha \ell_{\text{щ}}}{\lambda_2}; \quad \lambda = \frac{x}{\ell_{\text{щ}}} \\ \text{ctg } \mu_n = \frac{1}{B_i} \mu_n; \quad A_n = (-1)^n \frac{2B_i \sqrt{\mu_n^2 + B_i^2}}{\mu_n (\mu_n^2 + B_i^2 + B_i)} \quad (15)$$

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

където T е температурата на щифта, K° ;

$\ell_{\text{щ}}$ - дължината на щифта, m;

F_{02} - критерият на Фурие за щифта;

B_i - критерият на Био за щифта;

α_2 - топлинна проводимост, между щифта и мантията, $\text{W/m}^2 \text{ K}^\circ$;

λ_2 - коефициентът на топлопроводност на щифта, W/m K° ;

b - коефициент на линейно изменение на температурата, K°/s ;

a_2 - топлопроводно число на щифта, m^2/s .

Коефициентът b се определя от зависимост (11)

$$b = q_m \frac{a_m}{\lambda_m h_m}, \text{ K}^\circ / \text{s} \quad (16)$$

В реални условия температурата в мястото на срязване е по-ниска от тази изчислена по зависимост (15).

За това получената по зависимост (15) температура се умножава с коефициент на сигурност $K_c / K_c = 0,8 \div 0,9$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Направеният анализ определя условията на работа на аварийната защита на ЦСС. Изведените зависимости са използвани за оразмеряване на предпазните щифтове на ЦСС 55/1,5. Тези съединители се изработиха за нуждите на „Марбас“ Димитровград (виж фиг.4) за задвижване на лентови транспортъори.

ЛИТЕРАТУРА

- Тасев, В. Възможности за приложение на ЦСС с водещ, шестлопатен ротор в задвижванията на машината от миннодобивния отрасъл. Дисертация., 1990.
- Матеев, М., Цв. Дамянов, В.Тенев. Топлинна защита на съединители ЦСС-Я. Годишник ИТМ, гр.Радомир, 1994.
- Матеев, М. Леснотопими сплави за аварийна топлинна защита на съединителите ЦПСЕ и методика за нейното оразмеряване. Годишник ВМГИ, 1933/34.
- Тасев, В., Цв. Дамянов, М.Матеев. Нов начин за определяне момента на „ЦСС. Годишник на ВМГИ 14, 1986/87.
- Пехович, А.И., В.М. Жидких. Расчеты теплового режима твердых тел. Энергия, 1976.

ТЕМПЕРАТУРА В МАНТИЯТА НА ЦЕНТРОБЕЖНИТЕ САЧМЕНИ СЪЕДИНИТЕЛИ

Венелин Тасев

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

РЕЗЮМЕ. В статията се разглежда изменението на температурата в мантията на центробежните сачмени съединители в динамиката на пусковия процес. Изведени са зависимости във функция от времето, координатата и изменението на статичния съпротивителен момент на работната машина.

TEMPERATURE IN THE MANTLE OF CENTRIFUGAL BALL JOINTS.

Venelin Tasev

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

ABSTRACT. The paper examines changes in temperature in the mantle of centrifugal ball joints in the dynamics of the starting process. Dependencies are derived as a function of time and coordinate changes to the static modulus of the working machine

Центробежните сачмени съединители (ЦСС) са фрикционни механизми, които позволяват безпроблемно самостоятелно развъртане на задвижващия двигател при условия на минимално натоварване и плавно ускоряване на работната машина. Както при всички фрикционни механизми, така и при ЦСС в пусковия процес се отделя топлина, което го загрева. При ЦСС основния фрикционен момент се формира върху вътрешната цилиндрична повърхност – „мантия“ и респективно там се отделя най-голямото количество топлина. Решението на топлинната задача при точни реални условия е сложна. Тук се прави опит за намиране на решение при известни опроставяния, а именно:

1. Температурата във всички точки в началото на процеса е еднаква.
2. Топлоотделяне се извършва само от външната стена.
3. Пренебрегва се кривината на мантията.
4. Загряването се извършва от вътрешната страна от топлинен поток, определен от условията на триене.
5. Коефициентът на външно топлоотдаване и другите топлинни параметри са постоянни

Горните условия определят задача от едноразмерен вид при гранични условия от втори и трети род [1,2].

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}; \quad t = 0 \rightarrow T_H = 0 \quad (1)$$

$$t > 0; x = 0 \rightarrow q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x};$$

$$t > 0; x = h \rightarrow \lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha_B (T - T_B);$$

където: $T(t, x)$ е температурата в мантията, K° ;
 t – текущото време, s ;

x – текущата координата, m ;
 a – топлопроводното число, $...;$;
 α – коефициентът на топлоотдаване – W/m^2K° ;
 T_B – външната температура, K° .

Топлинният поток q се определя от отделената топлинна мощност Q , повърхността на мантията S_m и коефициента на потока разпределение $\alpha_{тп}$ по зависимостта:

$$q(t) = \alpha_{тп} \frac{Q(t)}{S_n}, \quad W/m^2. \quad (2)$$

Топлинната мощност Q е функция на развивания от съединителя момент M_e и разликите между входящата ω_1 и изходящата ω_2 честота на въртене:

$$Q = M_c (\omega_1 - \omega_2) \cdot W;$$

В общия случай всички параметри се променят в пусковия процес и моментната стойност $Q(t)$ на топлинната мощност е:

$$Q(t) = M_c (t) [\omega_1(t) - \omega_2(t)] \cdot W. \quad (3)$$

При установено боксуване тоест при $\omega_2=0$, топлинната мощност Q и съответно топлинния поток са постоянни:

$$Q_\delta = M_c \omega_1 = \text{const.}$$

$$q = \text{const.}$$

За този случай решението на 1 е [1,2]:

$$T(t, \eta) = T_B + \frac{qh}{\lambda} \cdot \left[1 - \eta + \frac{1}{B_i} - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(\mu_n \eta) \exp(-\mu_n^2 F_0) \right] \quad (4)$$

$$\cot g \mu_n = \frac{1}{B_i} \mu_n ; A_n T = \frac{2(\mu_n^2 + B_i)}{\mu_n^2 (\mu_n^2 + B_i^2 + B_i)} ;$$

$$F_0 \frac{a}{h} t ; B_i = \frac{\alpha}{\lambda}$$

където F_0 е критерият на Фурие;

B_i - критерият на Био;

h – дебелината на мантията, m;

q - топлинния поток, W/m²;

λ - топлопроводността W/mK°;

α - коефициентът на външно топлоотделяне, W/m²K°.

При коефициент на външното топлоотдаване $\alpha = 8 \div 20$ W/m²K° критерият на Био има стойности от 10^{-3} до $4 \cdot 10^{-3}$. Това определя едно незначително отделяне на топлина във външната среда и позволява то да се пренебрегне. За този случай 4 има следното решение [1,2]:

$$T(t, \eta) = T_B + \frac{qh}{\lambda} \cdot \left\{ F_0 - \eta + \frac{\eta^2}{2} - \frac{1}{3} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos[\mu_n(1-\eta)] \exp(-\mu_n^2 F_0) \right\} \quad (5)$$

$$\mu_n = n \cdot \pi ; A_n = (-1)^{n+1} \frac{2}{\mu_n^2} ; \eta = \frac{x}{h}$$

В таблица 1 са посочени стойностите на относителната температура θ на мантия с дебелина 11 mm при $\alpha_B = 9$ W/m²K°, $B_i = 0,0022$ за външната и вътрешната повърхност изчислени по двете формули.

$$\theta_{Bm} = \theta(t, 0) = \frac{T(t, 0)}{q \cdot h} \lambda - T_B \quad (6)$$

$$\theta_{Bn} = \theta(t, 1) = \frac{T(t, 1)}{q \cdot h} \lambda - T_B \quad (7)$$

Таблица 1

Ф-ла		10	20	40	60	80	100	120
4	θ_{Bn}	1,32	2,31	4,28	6,25	8,2	10,15	12,1
4	θ_{Bm}	0,82	1,81	3,78	5,74	7,7	9,64	11,6
5	θ_B	1,32	2,32	4,3	6,28	8,27	10,25	12,2
5	θ_{Bm}	0,82	1,82	3,8	5,78	7,76	9,75	11,7
Отнс.								
гр.								
%	$\varepsilon_{Bn} \%$	0,38	0,13	0,34	0,55	0,76	0,98	1,19
	$\varepsilon_{Bm} \%$	0,16	0,27	0,49	0,7	0,92	1,14	1,3

Грешката при използването на 5 вместо 4 достига до един процент, което позволява нейното прилагане.

При неизменен статичен съпротивителен момент $M_p = \text{const.}$, топлинният поток през мантията линейно намалява [4] $q(t) = q_{\max}(1 - t/t_n)$ в този за определяне на температурата в мантията може да се ползва предложението в метод на суперпозицията. След съответни преобразувания се получава:

$$\theta(t, \eta) = F_0 - \eta + 0,5 \cdot \eta^2 + \frac{1}{3} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos[\mu_n(1-\eta)].$$

$$\exp(-\mu_n^2 F_0) - \frac{h}{t_n a} \cdot \left\{ \frac{F_0^2}{2} + \frac{F_0}{3} + \frac{F_0}{2} \eta^2 - F_0 \eta + \frac{\eta^4}{24} - \frac{\eta^3}{6} + \frac{\eta^2}{6} - \frac{1}{45} - \sum_{n=1}^{\infty} B_n \cos[\mu_n(1-\eta)] \exp(-\mu_n^2 F_0) \right\};$$

$$\mu_n = n \cdot \pi ; A_n = (-1)^{n+1} \frac{2}{\mu_n^2} ; B_n = (-1)^{n+1} \frac{2}{\mu_n^4} \quad (8)$$

След преобразувания, ограничавайки се само с първите два члена на реда, за относителната температура на вътрешната стена се получава следната зависимост:

$$\theta(t, 0) = F_0 + \frac{1}{3} - \frac{2}{\pi^2} e^{-\pi^2 F_0} - \frac{1}{2\pi^2} e^{-4\pi^2 F_0} - \frac{h}{t_n a} \cdot \left(\frac{F_0^2}{2} + \frac{F_0}{3} + \frac{1}{45} + \frac{2}{\pi^4} e^{-4\pi^2 F_0} + \frac{1}{8\pi^4} e^{-4\pi^2 F_0} \right) \quad (9)$$

Съответно за външната стена относителната температура е:

$$\theta(t, 1) = F_0 - \frac{1}{6} + \frac{2}{\pi} e^{-\pi^2 F_0} - \frac{1}{2\pi} e^{-4\pi^2 F_0} - \frac{h}{t_n a} \cdot \left(\frac{F_0^2}{2} - \frac{F_0}{6} + \frac{21}{1080} - \frac{2}{\pi^4} e^{-\pi^2 F_0} + \frac{1}{8\pi^4} e^{-4\pi^2 F_0} \right) \quad (10)$$

След преобразуване на 5 за относителната температура при неизменен топлинен поток за външната и вътрешната стена се получават следните изрази

$$\theta(t, 0) = F_0 + \frac{1}{3} - \frac{2}{\pi^2} e^{-\pi^2 F_0} - \frac{1}{2\pi^2} e^{-4\pi^2 F_0} \quad (11)$$

$$\theta(t, 1) = F_0 - \frac{1}{6} + \frac{2}{\pi^2} e^{-\pi^2 F_0} - \frac{1}{2\pi^2} e^{-4\pi^2 F_0} \quad (12)$$

Получените зависимости 5-12 позволяват да се определят относителните температури на външната и вътрешната стена на мантията при постоянен и линейно намаляващ топлинен поток. Това отговаря съответно на режим на установено боксуване и на ускоряване на работната машина при неизменен съпротивителен момент.

Разгледаните случаи на нагряване на мантията и - при установено боксуване и линейно ускоряване на Р.М. не изчерпват всички възможни случаи на работа на ЦСС.

В практиката се срещат машини, чийто съпротивителен момент се изменя с изменението на ъгловата им скорост. Повечето случаи това изменение може да се опише с полинома:

$$M_p = M_0 + a\omega_p + b\omega_p^2, Nm;$$

където: M_p е статичния съпротивителен момент на машината, Nm;

ω_p – ъгловата и скорост, rad;
a и b – коефициенти, определящи вида на кривата.

Различният начин на изменение на M_p (ω_p) води до различно изменение на топлинния поток [4]. В тези случаи е удобно използването на предложената в [3] зависимост:

$$T(t, n) = \frac{\alpha_{\text{тп}} \cdot W_n \cdot b_i \cdot \psi_i}{\lambda_i \cdot S_{\text{т}} \cdot t_n} \left\{ \left[\frac{1}{3} - \eta(1 - 0,5\eta) \right] \tau_N + F_0 \tau_w - \frac{2\tau_N}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp(-\pi^2 n^2 F_0 \tau) \cos(\pi n \eta) \right\} + T, K^0; \quad (13)$$

където W_n е пълната работа на триене (пълното количество отделена топлина), J;

b_i - ефективна дълбочина на проникване на топлината, m;

ψ_i - коефициент на участващите в теплообмена маси;

λ_i - топлопроводност на съответния елемент, W/mK°;

$S_{\text{т}}$ - повърхност на триене, m²;

t_n - пълното време на триене, s;

τ_N - безразмерен параметър на топлинната мощност;

τ_w - безразмерен параметър на топлинната енергия;

η - отношението на текущата координата към пълния размер $\eta = x/b$

$\tau = t/t_n$ - относителното време.

С помощта на 13 могат да се определят температурите в целия процес на триене във всяка точка на триещата двойка. За това е необходимо да са известни всички участващи в него коефициенти - $\alpha_{\text{тп}}$, $b_{\text{еф}}$, λ_i и параметри W_n , t_n , τ_N , τ_w .

Безразмерните параметри на триенето са дефинирани по следния начин:

$$\tau_N = \frac{Q(t)}{\frac{1}{t_n} \int Q(t) dt} \quad (14)$$

$$\tau_w = \frac{W(t)}{\int Q(t) dt} \quad (15)$$

За представяне на безразмерната температура е удобно въвеждане на безразмерния параметър на средната топлинна мощност:

$$K_N = \frac{W_n}{M_c \omega_n t_n} \quad (16)$$

При това безразмерната температура се пресмята по израза:

$$\theta(t, n) = K_N \left\{ \left[\frac{1}{3} - \eta(1 - 0,5\eta) \right] \tau_N + F_0 \tau_w - \frac{2\tau_N}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \cos(\pi n \eta) \exp(-\pi^2 n^2 F_0 \tau) \right\} \quad (17)$$

За вътрешната и външната повърхност съответно се получава:

$$\theta(t, 0) = K_N \left\{ F_0 \tau_w + \tau_N \left[\frac{1}{3} - \frac{2}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp(-\pi^2 n^2 F_0 \tau) \right] \right\} \quad (18)$$

$$\theta(t, 1) = K_N \left\{ F_0 \tau_w - \tau_N \left[\frac{1}{6} - \frac{2}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \cos(\pi n) \exp(-\pi^2 n^2 F_0 \tau) \right] \right\} \quad (19)$$

Изменението на топлинната мощност Q_i и отделеното количество топлина W_i се определя от динамиката на пусковия процес [4].

Законите на изменение на скоростта, топлинната мощност и отделената топлина зависят от момента развиван от съединителя, статичния съпротивителен и инерционен момент на машината и неговото изменение във времето, като се описват със следните зависимости:

$$Q(t) = M_c(t) [\omega_1(t) - \omega_2(t)], W$$

$$W(t) = \int_0^t M_c(t) [\omega_1(t) - \omega_2(t)], J$$

Решението на горните зависимости за изменението на топлинната мощност и отделеното количество топлина е представено таблица 2, а това на пълното количество топлина в таблица 3.

В таблиците са указани формули за различни случаи на изменение на статичния съпротивителен момент на машината (M_p). Намирането на законите на изменение на топлинните параметри дава възможност за определяне на безразмерните параметри на триенето – зависимости 14, 15, и 16. Видът на тези зависимости за различни случаи на изменение на статичния съпротивителен момент на Р.М. са показани в таблица 4.

Изведените зависимости в таблици 2, 3 и 4 дават възможност за определяне параметрите на триене τ_N , τ_w и K_N . Те дават възможност по зависимости 17, 18 и 19 да се определи температурата във всяка точка на мантията по всяко време на пусковия процес.

Те могат да се ползват при топлинното оразмеряване на съединителите и съответния избор на масло.

Таблица 2.

Начин на изменение на съпротивителния момент	Изменение на топлинната мощност	Отделена топлина
$M_p = M_o$	$Q = M_c \left(\omega_n - \frac{M_c - M_o}{J_2} t_p \right)$	$W = M_c \left(\omega_n t_p - \frac{M_c - M_o}{J_2} \left(\frac{t - t_y}{2} \right)^2 \right)$
$M_p = M_o + a\omega_2$	$Q = M_c \left(\omega_n - \frac{M_c - M_o}{a} t_p \left(1 - e^{-\frac{at_p}{J_2}} \right) \right)$	$W = M_c \left(\omega_n t_p - \frac{M_c - M_o}{a} \left(t_p - \frac{J_2}{a} \left(1 - e^{-\frac{at_p}{J_2}} \right) \right) \right)$
$M_p = M_o + b\omega_2^2$	$Q = M_c \left(\omega_n - \sqrt{\frac{M_c - M_o}{b}} \operatorname{th} \frac{\sqrt{b(M_c - M_o)}}{J_2} t_p \right)$	$W = M_c \left(\omega_n t_p - \frac{J_2}{b} \operatorname{lnch} \frac{\sqrt{b(M_c - M_o)}}{J_2} t_p \right)$
$M_p = M_o - b\omega_2^2$	$Q = M_c \left(\omega_n - \sqrt{\frac{M_c - M_o}{b}} \operatorname{tg} \frac{\sqrt{b(M_c - M_o)}}{J_2} t_p \right)$	$W = M_c \left(\omega_n t_p + \frac{J_2}{b} \operatorname{ln} \cos \frac{\sqrt{b(M_c - M_o)}}{J_2} t_p \right)$
$M_p = M_o + a\omega_2 + b\omega_2^2$	$Q = M_c \left(\omega_n - \frac{D}{2b} \operatorname{tg} \left(\operatorname{arctg} \frac{1}{D} - \frac{D}{2J_2} t_p \right) + \frac{1}{2b} \right)$	$W = M_c \left(\left(\omega_n + \frac{a}{2b} \right) t_p - \frac{J_2}{b} \operatorname{ln} \frac{\cos \left(\operatorname{arctg} \frac{a}{D} - \frac{D}{2J_2} t_p \right)}{\cos \operatorname{arctg} \frac{a}{D}} \right)$
$a + 4b(M_c - M_o) < 0$ $D = \sqrt{-4b(M_c - M_o) - a^2}$	$Q = M_c \left(\omega_n - \frac{a - D}{2b} \frac{1 - e^x}{e^x - A} \right)$	$W = M_c \left(\omega_n t_p - \frac{a + D}{2b} \left(\frac{J_2}{2D} (1 - A) \operatorname{ln} \frac{e^x - A}{1 - A} - t_p \right) \right)$
$a + 4b(M_c - M_o) > 0$ $D = \sqrt{a^2 + 4b(M_c - M_o)}$ $A = \frac{a - D}{a + D}$ $z = \frac{D}{J_2} t_p$	$Q = M_c \left(\omega_n - \frac{a - D}{2b} \frac{1 - e^x}{e^x - A} \right)$	$W = M_c \left(\omega_n t_p - \frac{a + D}{2b} \left(\frac{J_2}{2D} (1 - A) \operatorname{ln} \frac{e^x - A}{1 - A} - t_p \right) \right)$
$a + 4b(M_c - M_o) = 0$	$Q = M_c \left(\omega_n - \frac{a}{2b} \left(\frac{2J_2}{at_p + 2J_2} - 1 \right) \right)$	$W = M_c \left(\left(\omega_n + \frac{a}{2b} \right) t_p - \frac{J_2}{b} \operatorname{ln} \frac{at + 2J_2}{2J_2} \right)$

Таблица 3.

Начин на изменение на съпротивителния момент	Отделена топлина	Крайни случаи		
		$M_c \rightarrow \infty$	$M_c \rightarrow M_o$	$M_c \rightarrow M_o$
$M_p = M_o$	$W_n = \frac{J_2 \omega_n^2}{2} \frac{M_c}{M_c - M_o}$	$W_n = \frac{J_2 \omega_n^2}{2}$	$W_n = \infty$	-
$M_p = M_o \pm a\omega_2$	$W_n = \frac{M_c J_2 \omega_n^2}{M_k - M_o} \left(\frac{M_k - M_c}{M_k - M_o} - \ln \frac{M_c - M_o}{M_c - M_k} + 1 \right)$	$W_n = \frac{J_2 \omega_n^2}{2}$	$W_n = \infty$	$W_n = \frac{M_c J_2 \omega_n^2}{M_k - M_o}$
$M_p = M_o + b\omega_2^2$	$W_n = \frac{M_c J_2 \omega_n^2}{M_k - M_o} (A \tan^{-1} A + \ln \sqrt{1 - A^2})$; $A = \sqrt{\frac{M_k - M_o}{M_c - M_o}}$	$W_n = \frac{J_2 \omega_n^2}{2}$	$W_n = \infty$	$W_n = \frac{M_c J_2 \omega_n^2}{M_k - M_o}$
$M_p = M_o - b\omega_2^2$	$W_n = \frac{M_c J_2 \omega_n^2}{M_k - M_o} (A \tan^{-1} A - \ln \sqrt{1 - A^2})$; $A = \sqrt{\frac{M_o - M_k}{M_c - M_o}}$	$W_n = \frac{J_2 \omega_n^2}{2}$	$W_n = \infty$	-
$M_p = M_o - a\omega_2 + b\omega_2^2$	$W_n = \frac{M_c J_2 \omega_n^2}{M_k - M_o} \ln \sqrt{1 - \frac{M_o - M_k}{M_c - M_o}}$	$W_n = \frac{J_2 \omega_n^2}{2}$	$W_n = \infty$	-
$a = 2b\omega_n$ $b = (M_o - M_k) / \omega_n^2$		$W_n = \frac{J_2 \omega_n^2}{2}$	$W_n = \infty$	-

Таблица 4.

Начин на изменение на съпротивителния момент	K_N	T_N	T_W
$M_p = M_o$	$K_N = 0.5$	$T_N = 2(1 - T)$	$T_W = 2T - T^2$
$M_p = M_o \pm a\omega^2$	$K_N = \frac{1 + C \ln A}{2 \ln A}$	$T_N = \frac{1 - B(1 - A^{-T})}{C \ln A + 1} \ln A$	$T_W = \frac{T \ln A(1 - B) + B(1 - A^{-T})}{C \ln A + 1}$
$M_p = M_o \pm b\omega_2^2$	$K_N = \frac{1}{2} - \frac{\ln \sqrt{1 - A^2}}{2A \operatorname{arth} A}$	$T_N = \frac{A - \operatorname{th}(T \operatorname{arth} A)}{A \operatorname{arth} A + \ln \sqrt{1 - A^2}}$	$T_W = \frac{A \operatorname{arth} A - \operatorname{lnch}(T \operatorname{arth} A)}{A \operatorname{arth} A - \ln \sqrt{1 - A^2}}$
$M_p = M_o - b\omega_2^2$	$K_N = \frac{1}{2} + \frac{\ln \sqrt{1 - A^2}}{2A \operatorname{arth} A}$	$T_N = \frac{A - \operatorname{th}(T \operatorname{arth} A)}{A \operatorname{arth} A + \ln \sqrt{1 - A^2}}$	$T_W = \frac{A \operatorname{arth} A + \operatorname{lnch}(T \operatorname{arth} A)}{A \operatorname{arth} A - \ln \sqrt{1 - A^2}}$
$M_p = M_o - a\omega^2 + b\omega_2^2$	$K_N = \frac{\ln \sqrt{1 - A^2}}{2A \operatorname{arth} A}$	$T_N = \frac{\operatorname{arth} A \operatorname{th}(T - 1) \operatorname{arth} A}{\ln \sqrt{1 - A^2}}$	$T_W = 1 + \frac{\operatorname{lnch}(1 - T) \operatorname{arth} A}{\ln \sqrt{1 - A^2}}$

Литература

Пехович А.И. Расчет теплового режима твердых тел.
Энергия, Ленинград 1976 г.
Цой П.В. Методы расчета задач тепломасопереноса.
Энергоатомиздат, 1984 г.

Чичинадзе А.В. Тепловая дианмика трения. М.Наука, 1970 г.

Тасев В.Л. Възможности за приложение на центробежните сачмени съединители с водещ шестлопатен ротор в задвижванията на минно добивния отрасъл. Дисертационен труд, ВМГИ, 1990 г.

*Препоръчана за публикуване от катедра
„Механизация на мините“, МЕМФ*

APPLICATION PROSPECTS OF THE LIME SAPPHIRE IN THE INDUSTRIES AND AN URGENCY OF ITS SUPERFICIAL PROCESSING

Gridin O., Melnikov E., Teplova T., Mikov I., Birjukov E., Solovjev V.

Moscow State Mining University

ABSTRACT. Monocrystals of the lime sapphire, thanks to the properties, find wide application by manufacture of hi-tech products in the field of nano technologies. For manufacturing of the specified products it is necessary precision processing of a surface with reception nanometers a relief. Traditional processing represents the difficult technological scheme with finishing polishing in excited environments. The perspective method of quasiplastic processing allows to receive a high-quality surface at a stage of diamond grinding.

Keywords: lime sapphire, microelectronics, quasi-plastic grinding, base layers, roughness.

ПРАКТИЧЕСКИ ПРИЛОЖЕНИЯ НА ВАРОВИКОВ САПФИР В ПРОМИШЛЕНОСТТА И НЕОБХОДИМОСТ ОТ НЕГОВАТА ОБРАБОТКА

О. Гридин, Е. Мелников, Т. Теплова, И. Миков, Е. Биржуков, В. Соловьев

Московски държавен минен университет

РЕЗЮМЕ: Благодарение на своите качества, монокристалите на варовиковия сапфир намират широко приложение при производството на високотехнологични продукти в областта на нанотехнологиите. За производството на определени продукти е необходима прецизна обработка на повърхността. Традиционната обработка се извършва по трудна технологична схема. Перспективен метод за квази-пластична обработка дава възможност да се получат висококачествени повърхности.

Ключови думи: варовиков сапфир, микроелектроника, квази-пластмасово шлайфане, слоеве, грапавини.

Modern scientific and technological progress are inextricably linked with the development and the development of new materials and breakthrough technologies. The material became a key factor determining the success of many engineering solutions when creating complex electronics. Now is the scope of lime sapphire (the white synthetic sapphire) in different articles appliances, devices and appliances. The white synthetic sapphire is a corundum - a colorless transparent mineral, aluminum oxide Al_2O_3 . Natural minerals serenity and constitute a precious jewelry stones. For technical purposes used synthetic corundum. According to research, basic physical properties of synthetic corundum are very close to natural. Currently the principal methods of cultivation surround those produced by monocrystal synthetic sapphire in Russia are: Czochralski, Kirapulusa (its method Musatova-GOI), Bridgmen, Vernel, and horizontal crystallization (SOC). For the production of crystals profiled lime method of Stepanov. Stepanov are grown mainly method ribbon to manufacture of various optical windows, because the tape is homogeneous quality material required for substrates. Qualitative synthetic sapphire single crystals grow crystals, but this method requires a more sophisticated equip-

ment and highly qualified service personnel. Large single crystals lime is grown mainly according to the method Kyropoulos. The method is quite simple and well developed, but has a number of deficiencies that affect the quality of synthetic sapphire. Specialists from the Zelenograd proposed a number of designs to improve the growing method of synthetic sapphire. For example, of the proposed new design heater, this allows you to reduce the formation of bubbles and MOOG in the orderliness of lime. Design heater and the technological improvements patents of the Russian Federation. Heaters tested plants cultivation and showed good results which allowed raise output cylindrical workpieces from those produced by monocrystal for production of high-power LEDs and bring it to 40%. There are patents on methods and devices of lime. Single crystals of synthetic sapphire, produced a variety of methods have the same physical and chemical properties, but different technical specifications required for use in a science and technology. Table 1 shows the results of a comparative analysis of the technical characteristics of synthetic sapphire crystals grown various methods.

Table 1

Characteristics of synthetic sapphire monocrystals with various ways of growing

Performance	SOC	Vemel	Chohralsky	GOI (Musato-va)	Stepanov
Optical homogeneity	high	medium	high	medium	medium
density defects	low	high	low	medium	high
speed crystallization	medium	low	low	medium	high
internal pressure	low	high	medium	medium	high
Configuration grown material	plates	bolts, half bolts	bolts	bolts	band, the profile
roasting	not required	required	required	required	required
Cost	medium	low	high	medium	low

Note: orientation of the optical axis – any specified

Using of synthetic sapphire in various industries due to its characteristics: high transparency; resistant to UV radiation; resistance to mechanical damage and high temperatures; high dielectric properties; especially lattice to grow Epitaxial layers on it; the highest strength; low coefficient of friction; ability to

make sound very thin (tip blade scalpel); chemical and biological passivity.

Synthetic sapphire is produced on an industrial scale around the world and used effectively in every major industry [1]. The main product range from lime is given in table 2.

Table 2

The main product range from synthetic sapphire main technical requirements and applications

Production name	Material quality criteria, optical uniformity (min)	Size (configuration)	Cleanliness of processing (End result)	Commodity market
Watermark	1-4 high	Drives (up to 200 mm thickness) up to 15 mm	Polished	Optoelectronics, microelectronics, semiconductor equipment, chemical industry, special-purpose products
Lenses	1-4 high	Drives (up to 200 mm thickness) up to 15 mm	Polished	Optics, lighting, and precision engineering, metallurgy, special-purpose products
Glasses (Windows)	5-8 middle	Drives (up to 200 mm thickness) up to 15 mm	Polished	High-temperature optics, metallurgy, precise engineering, lighting equipment, special-purpose products
		Plates 200x95x25 300x200x20		Optical equipment (window bar code scanners), lighting equipment, chemical, hour industry, exact mechanical engineering, special-purpose products
Special purpose	1-8 middle	Drives (up to 200 mm thickness up to 15 mm,	Grinding, Polished	Military equipment, small series appliances and equipment (elements of research and technological equipment *), exact mechanical engineering
		Plate 200x95x25 300x200x20		
Structural products	5-8 middle	Drives (up to 200 mm thickness up to 15 mm,	Grinding, Polished	Military equipment, small series appliances and equipment (elements of research and technological equipment *), exact mechanical engineering
		plate 200x95x25 300x200x20		
Rods, tubes, strips, etc.	1-6 middle	Under the order	Grinding, Polished	The chemical industry

Note: reactors high pressure and high temperature furnaces CVD system, lasers, thermoelements covers, waveguides, fiber optics, vacuum equipment, evaporative cell injection for molecular beam epitaxy process, boats and crucibles for growing crystals, containers for melting especially pure substances, etc.

Semiconductors based lime sapphire operate in those conditions, in which the silicon-based semiconductors their order. Every year there are new scopes of lime sapphire in the manufacture of various electronic devices and appliances. Optoelectronics is one of the main consumers diameter substrates for the production of high-power super bright diodes (led) (HB LED) and solid-state lasers, blue, white, green light. Today in Europe as substrates for LEDs use two material: Sapphire, his production of cheap and technologically not difficult, and silicon carbide or carborundum composite galvanic coating. The brightness of the new LEDs twice exceeds analogues, available on the market, and quantum yield is 34.9%. When using this element as the backlight screen, for example, in mobile phones, with the same brightness required half the energy.

The main tendency that microelectronics reaches new indicators, this minimization sizes marked structures. Geometrical elements define the parameters and properties of devices, and reject sizes lead not only to changes in the technical characteristics, but also render. The steady improvement of microelectronic devices reduced the minimum size of the components to sub-micron values and the density of their packaging on a flat base increased by several orders of magnitude. The dimensions of the substrates are selected according to the degree of integration of integrated circuits (IC) their materials — in line with what is required for electrical, mechanical and thermal properties of substrates with [2].

It is obvious that the decrease of elements and the increase in density compositing has increased demands and to the quality of treatment and, of course, to her regimes. The quality of the surface layer of substrates with significantly influences the properties of the substrates and reflected on the circuits and devices created with using them. In these circumstances, when finishing materials on the inadmissibility of chips, cracks, mikrodefektov and dislocation in most of the material. The traditional way of processing solid fragile minerals (including crystals) is a mechanical polishing free and abrasive Blaster. After this processing is surface roughness of about 200 nm and disturbed subsurface ground layer. To achieve the necessary roughness (for example, diameter 0.2 nm) at manufacture

high-power harvesting polished in hostile environments. In Figure 1. 1 see technological scheme of production lime sapphire plates.

The traditional method has a number of shortcomings, the major one: the problematic achieving stable duplicate processing settings, the forest of subsurface layer substrate (even after polishing) and the high percentage of damage in surface substrates [3].

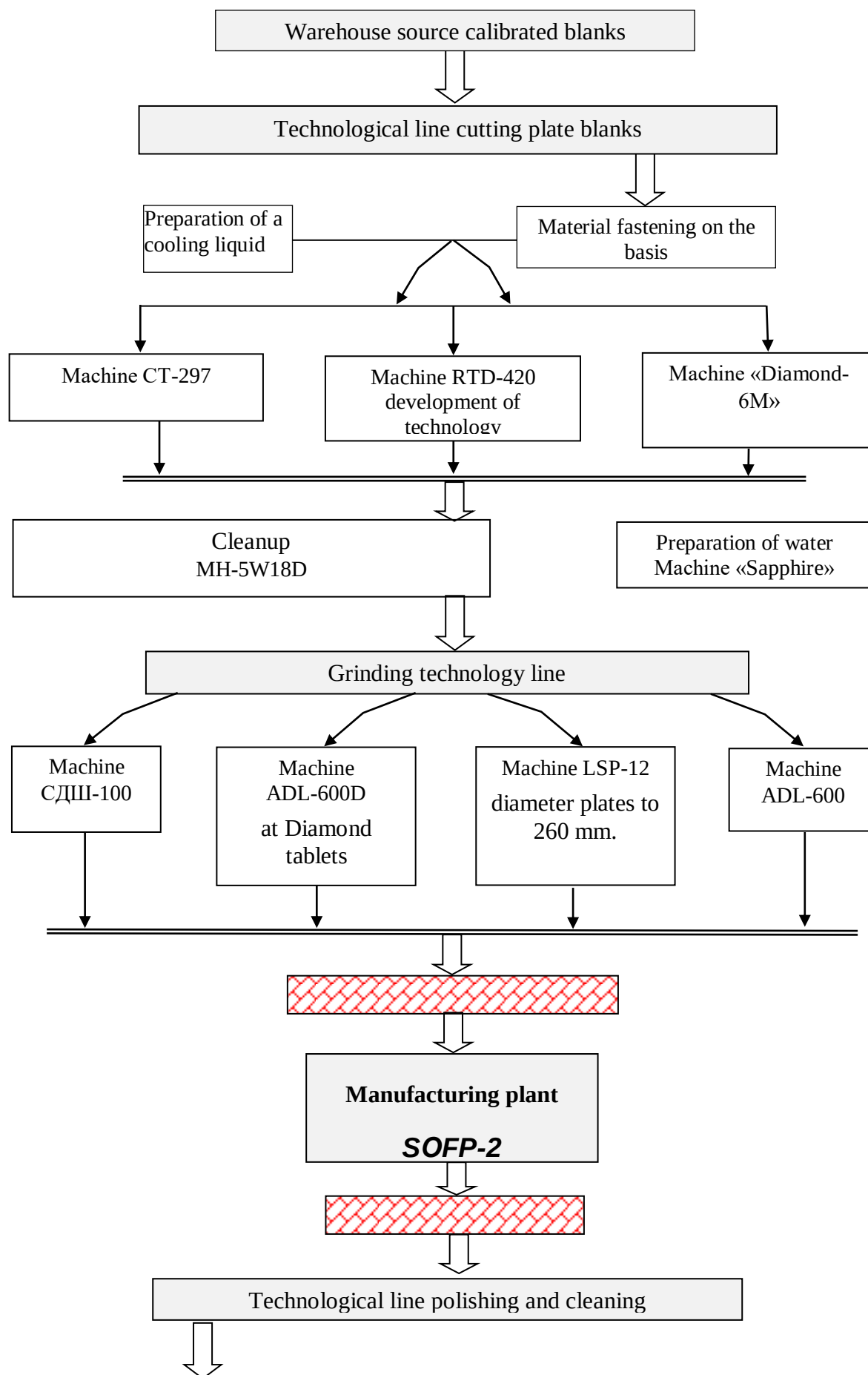
Modern machines for grinding free abrasive blaster have electronic starters and job pressure to eliminate defects are fragile, however, despite the introduction of the monitoring process, reduce the tedium of operations, the shortcomings of this method is not removed. Characteristic as a defect grinding free abrasive Blaster is education scratches caused by kinematics relative motion plates for polish circle, which is a great strength of grains of diamond. The troughs with alumina grains form scratches, but because of low productivity, also has no prospects in case processing sapphire. For solutions leading industries to finishing sapphire requires precise removal of surface soil mineral with getting nanometres a terrain surface and with minimal defects introduced the process of handling.

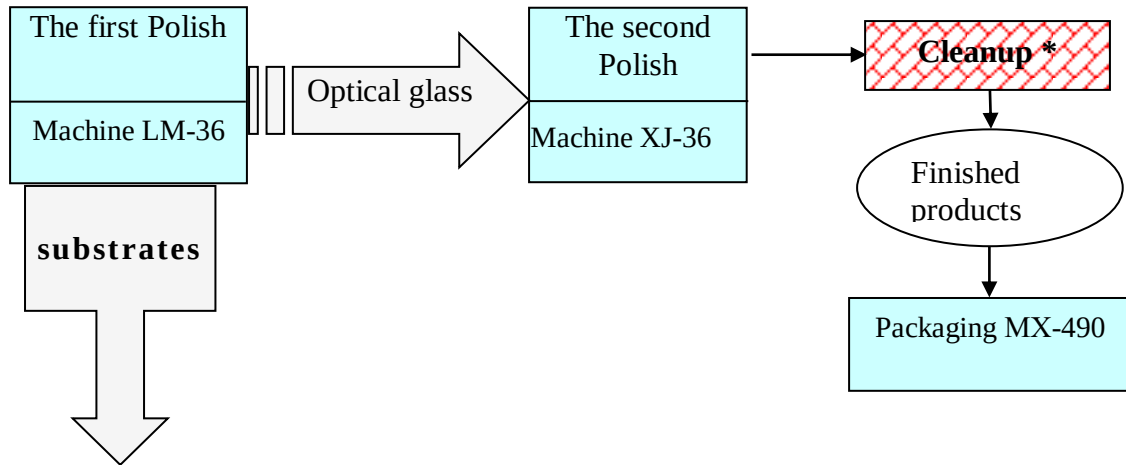
A promising way of obtaining quality particulate fragile crystalline materials surface nanometres a terrain is removing surface layer mode quaziplasticity [4].

Quaziplasticity solid materials technology is based on providing mechanical impact on surfaces material when grinding wheel of the proportion of $\mu\text{m}/\text{progress}$. The surface layer of brittle solid materials exhibit ductile properties and predominant mechanism becomes not fragile crashing, and quaziplasticity removing surface layer of material [5]. When data submissions contact interaction between wheel with treated surface creates periodic variable mechanical field, which happens to quaziplasticity removing surface layer with formation of nanometer surface roughness and with minimal defects (no more than 50 nm) made the process of handling. When quaziplasticity removing surface layer requires automation process with an unbroken machined surface nanometres a relief.

On the basis of theoretical studies were carried out experimental work at the choice of rational regimes quaziplasticity processing flat surfaces sapphire at the machine module AN15f4 [6]. As a result of the variation in size, speed, move the mortise filing desktop machine module path processing other options processing received positive results.

Apparatus- technological cheme production of polished Sapphire





Finishing spray and relief depiction of substrates **

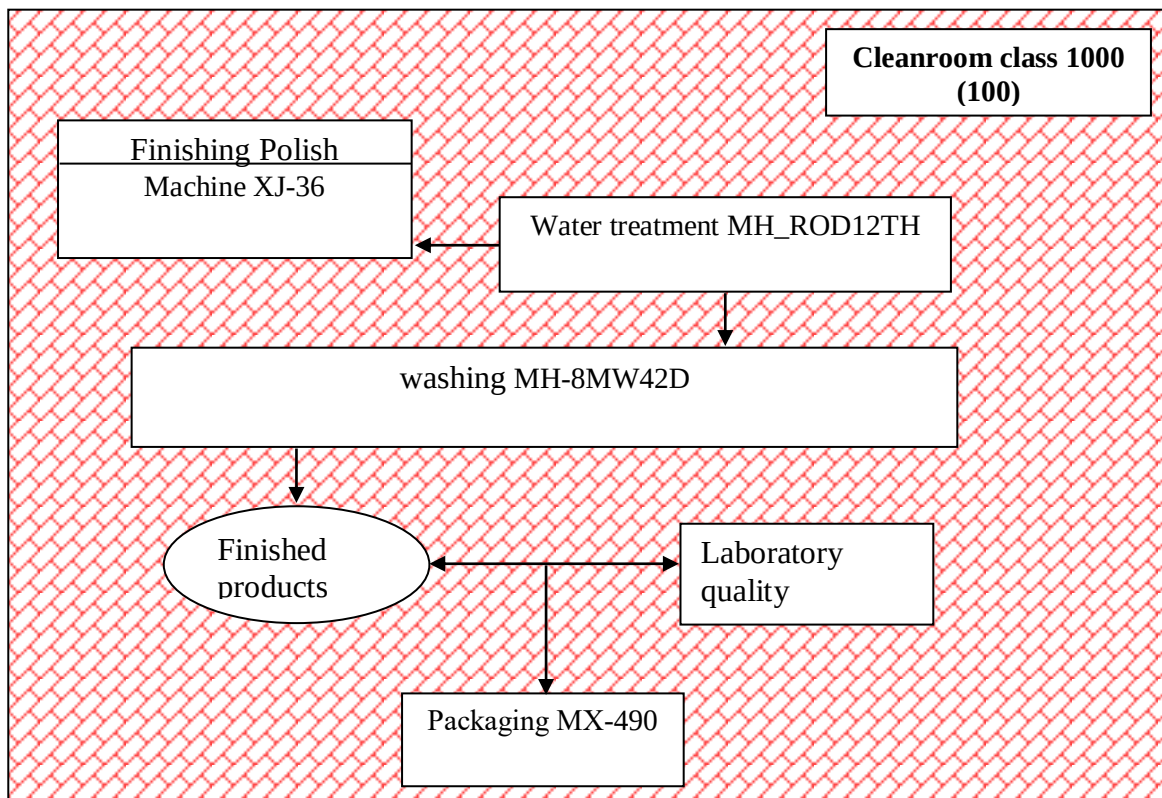


Fig. 1

Obtained from microrelief nm sapphire surface and subsurface ground layer of conserved land. In Figure 1. 2 results of research of the surface of the specimen and roughness measurement. Research has been conducted into Institute of common physics for interferometre white light "Zigo" newview 5000, resolution in plane object 0.45 μm in axesY-1 (a) (fig. 2).

The study showed that surface with no traces of brittle fracture received nanometer terrain. On the surface there is a gradient roughness with a minimum on the periphery. Surface roughness in the periphery of the average value of $R_a = 8.08 \text{ nm}$. There are sites with roughness $R_a = 1.946 \text{ nm}$.

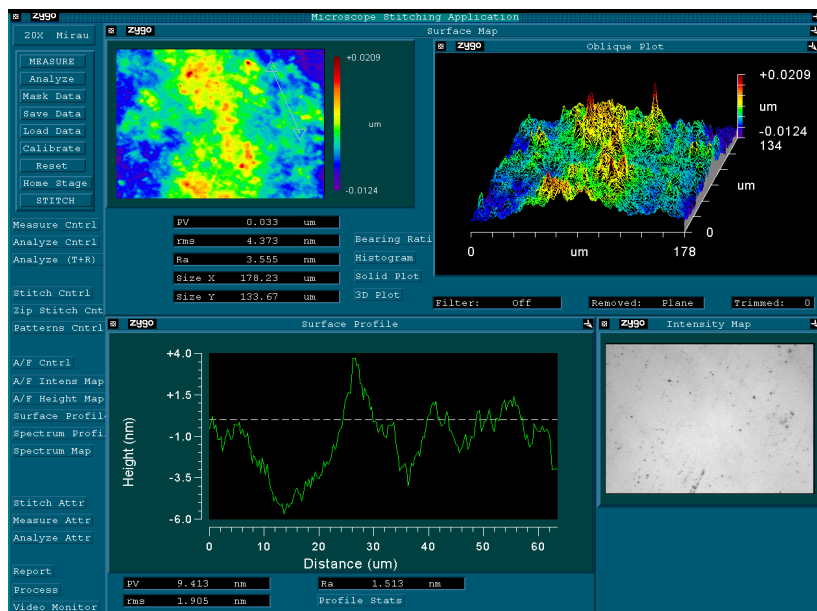


Fig. 2. The results of measurement roughness model No. 2

Conclusions through complex favourable chemical, electrical, mechanical, optical, thermal surface, and other unique properties lime sapphire has a wide range of application areas. How to handle quaziplastic mode allows you to get the processed surface roughness of 2-10 nm, making promising application for surface treatment of lime sapphire plates, because it reduces the time polishing in hostile environments. Identifying sound modes quaziplastic processing diameter and the possibility of technological diagnosis during processing makes it possible to automate the process of production of I lime sapphire substrates with surfaces of high quality. Demand for products of diameter annually growing at 10-15% demand substrates material for opto-and micro-electronics, microwave technology grows by 15-20%. Market products from lime sapphire is one of the most promising and rapidly developing.

References

- Теплова Т.Б., Самерханова А.С.: Тенденция развития применения твёрдых высокопрочных материалов в микроэлектронике, медицине и ювелирных изделиях; ГИАБ, 2006, №10.
- Малышева Технология производства интегральных микросхем.- М.: Радио и связь, 1991.
- Коньшин А.С., Теплова Т. Б., Соловьев В.В. Особенности микрошлифования кристаллов лейкосапфира на станочном модуле с числовым программным управлением. – ГИАБ. – 2005. - №3. - С. 52-56.
- Теплова Т. Б. Перспективы технологии размерно-регулируемого шлифования твердых высокопрочных материалов. - ГИАБ. – 2005. - №1. - С. 90-94.
- 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..
- Теплова Т.Б., Коньшин А.С., Соловьев В.В., Ашкинази Е.Е. О выборе рациональных режимов процесса микрошлифования монокристалла лейкосапфира. - ГИАБ. – 2005. - №9. - С. 76-83.

Recommended for publication of Editorial board

СИМУЛАЦИОННО МОДЕЛИРАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА БАРАБАННА ТОПКОВА МЕЛНИЦА ТИП МТЦ 4,5Х6

Иван Минин

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, E-mail: minin@dir.bg

РЕЗЮМЕ. Приложението на компютърните технологии има все по-нарастващо влияние в най-различни сфери на развитие на човешкото познание. Този факт в особена степен се отнася за отраслите на тежкото машиностроене, един от основните представители на който са обогатителните машини. Основната задача на настоящата статия е чрез специализирани софтуерни продукти да се демонстрират възможностите за моделиране, изследване и анализ (по метода на крайните елементи) на барабанни мелници.

SIMULATION MODELING AND ANALYSIS OF A TUMBLING BALL MILL TYPE 4,5X6

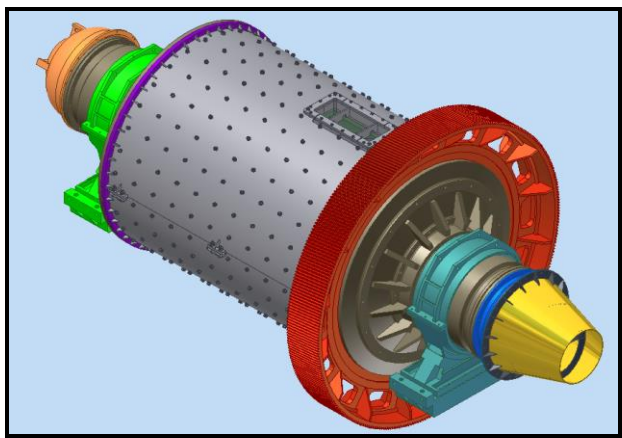
Ivan Minin

University of Mining and Geology „St. Ivan Rilski“, 1700 Sofia, E-mail: minin@dir.bg

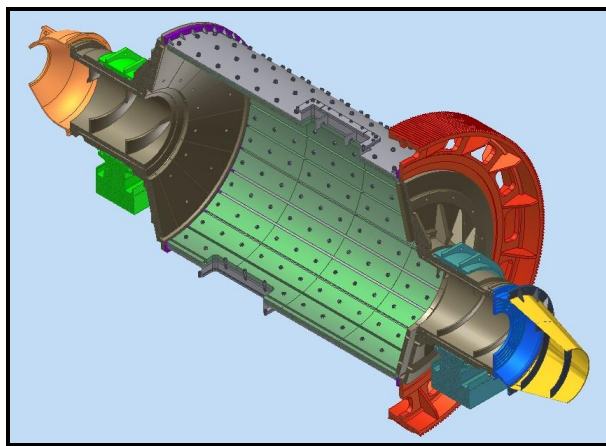
ABSTRACT. The application of computer technologies is having an increasing role in many spheres of human knowledge. This fact is especially true for the heavy machine building and for the processing machines in particular. The main task of the presented paper is to demonstrate the possibilities for modeling, study and analysis based on finite element method of tumbling ball mills through the application of specialized computer products.

Създаване на CAD модел на мелница тип МТЦ 4,5х6

При създаване на модела са спазени всички размери съгласно работните чертежи на мелницата. Този модел ще бъде необходим при симулационното изследване на машината. За целта бе създаден CAD модел на барабанна топкова мелницата, по оригинална работна документация. За създаването на настоящият модел, бе използван специализиран програмен продукт за CAD моделиране, а именно SolidWorks. Общ изглед на 3D модела е показан на фигура 1, а на фигура 2 показан разрез на модела на който се виждат основните възли на мелницата.



Фиг. 1 Мелница МТЦ 4,5 х 6



Фиг. 2. Разрез на мелница МТЦ 4,5х6

Резултати от симулационния анализ

Симулационният анализ е извършен на базата на специално създаденият тримерен модел на мелницата със специализирания софтуер SolidWorks, като са пренебрегнати детайлите, които нямат отношение към носещата способност на конструкцията. Използван е метода на крайните елементи с помощта на програмния продукт COSMOSWorks.

Избор на критерий за гранично състояние

Оценката на деформационно-напреженовото състояние на изследвания модел е задача, която няма универсално решение за всички срещани в практиката случаи и в най-голяма степен зависи от използваният материал. От друга страна, материалите могат да се държат като крехки или пластични в зависимост от температурата, степента на натоварване или начина на изработка на изделието. Всички тези особености предопределят избора на някоя от следните якостни теории:

- Теория на максималните нормални напрежения. Валидна за крехки материали. Основана се на условието, че границата на разрушаване на материала е една и съща на опън и натиск. Това допускане не отговаря на истината за всички случаи. Например повечето концентратори на напрежение намаляват съпротивлението на материала при натоварване на опън много повече отколкото при натоварване на натиск. Съгласно тази теория гранично състояние настъпва, когато максималното главно напрежение достигне допустимото:

$$\sigma_1 \geq [\sigma] \quad (1)$$

- Теория на максималните тангенциални напрежения. Валидна за жилав и ковък материал. При прилагането ѝ за материали с различни механични характеристики на опън и натиск, както и при състояния на всестранен опън получените резултати могат съществено да се различават от действителността. Съгласно теорията критерий за гранично състояние е максималното тангенциално напрежение:

$$\tau_{\max} \geq [\tau] \quad (2)$$

където:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (3)$$

- Енергетична теория (Von Mises). Теорията се основава появата на пластични деформации в ковките материали, когато се изравни с максимално допустимото напрежение. В повечето случаи се взема предвид границата на провлачване на материала. Резултатите при материали с различни механични характеристики на опън и натиск също са незадоволителни. От гледна точка на главните напрежения критерият за гранично състояние е:

$$\sigma_{\text{VonMises}} \geq [\sigma] \quad (4)$$

където:

$$\sigma_{\text{VonMises}} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}} \quad (5)$$

- Теория на Мор-Колумб. Приложима е за крехки материали с различни свойства на опън и натиск. Според тази теория гранично състояние настъпва, когато се изпълни някое от следните условия:

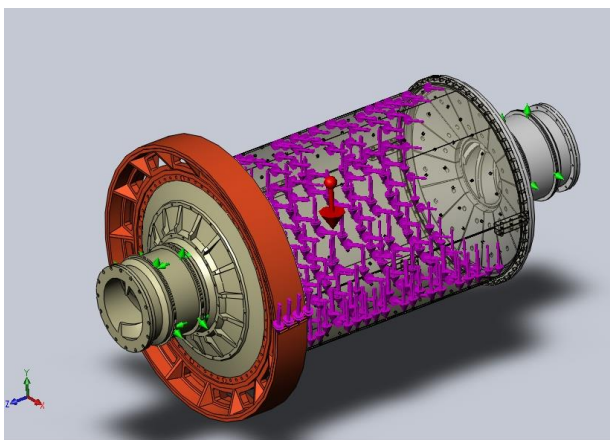
$$\sigma_1 \geq [\sigma_{\text{оп}}] \text{ при } \sigma_1 > 0, \quad \sigma_3 > 0; \quad (6)$$

$$\sigma_3 \geq [-\sigma_{\text{нат}}] \text{ при } \sigma_1 < 0, \quad \sigma_3 < 0; \quad (7)$$

$$\frac{\sigma_1}{[\sigma_{\text{оп}}]} + \frac{\sigma_3}{[-\sigma_{\text{нат}}]} < 1 \text{ при } \sigma_1 \geq 0, \quad \sigma_3 \leq 0; \quad (8)$$

Съгласно областите на приложение на разгледаните якостни теории, очевидно най-близко до условията, характерни за материала и натоварването на изследваната конструкция стоят теорията на максималните тангенциални напрежения и енергетичната теория.

На фигура 3 е показано разположението на силите, действащи на мелницата, както и опорните реакции в лагерите.



Фиг. 3 Сили и опорни реакции

Настройка на програмните инструменти за дискретизация

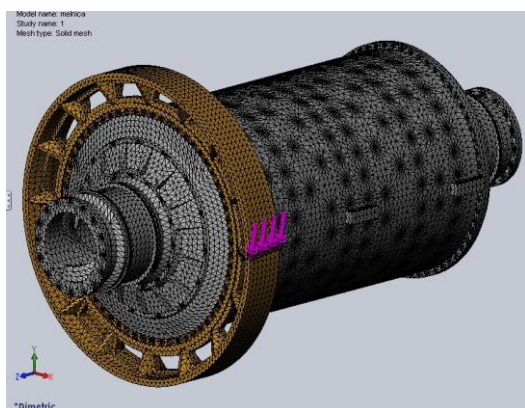
Методът на крайните елементи (FEA анализ) представлява числен метод за оценка на инженерните решения. За целта изработеният тримерен модел се разделя на малки части от прости по форма елементи, свързани помежду си с общи точки (възли). Методът определя поведението на модела като комбинира информацията, получена от всички образуващи елементи.

Замрежването (дискретизацията) на модела е една от най-важните стъпки от изследването. Големият брой елементи предполага по-висока точност на резултатите, но също така увеличава продължителността на изчислителния процес. Обратно – при малък брой крайни елементи изчислителното време намалява, но това е предпоставка за грешки при построяването на мрежата и по-неточни резултати.

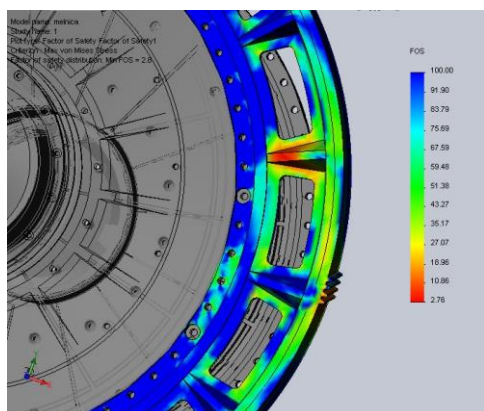
Оптималните настройки за дискретизацията на модела се получават след няколко опита за замрежване. Необходимо е да се следят времето за извършване на операциите, големината и броят на получените крайни елементи, както и детайлите в които са възникнали грешки при дискретизирането им. В някои случаи при изследване на големи сглобени единици, съдържащи детайли със

сложна форма или относително малки спрямо модела габарити, общото намаляване на размера на крайните елементи би довело до недопустимо нарастване на техния брой. В такъв случай се пристъпва към редуциране на размера на крайните елементи само на проблемните детайли, а общият размер се запазва в оптималните за целия модел стойности.

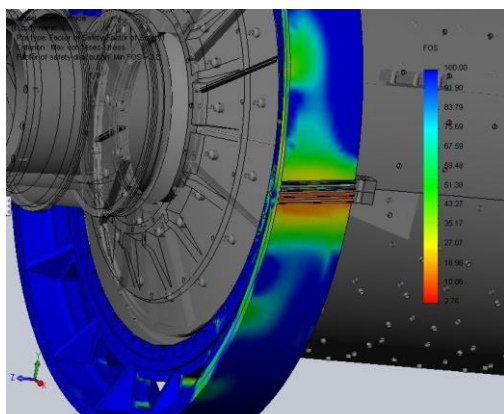
На фигура 4 е показан моделът на топкова мелница след дискретизация, а на фигури 5, 6, 7 и 8 са показани диаграмите на напреженията в зъбния венец и барабана на мелницата.



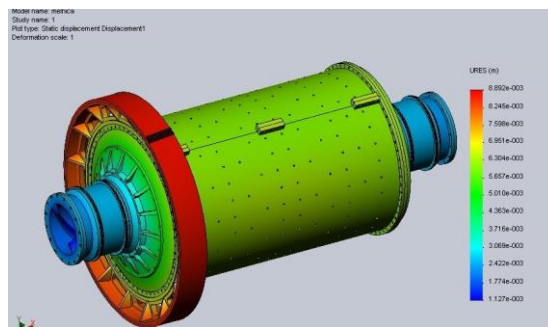
Фиг. 4 Дискретизация на модела



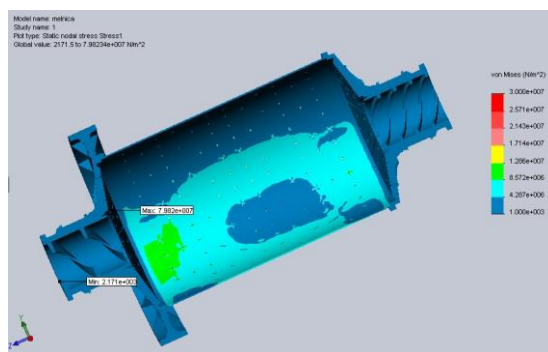
Фиг. 5. Напрежения в зъбния венец



Фиг. 6 Напрежения в зъбите на венета



Фиг. 7 Напрежения в спиците на венета



Фиг. 8 Напрежения в барабана

Изводи

От Фигурите и диаграмите на напреженията става ясно, че максималната стойност от 54 МПа се намира в основата на зъбите, участващи в зацепването на зъбният венец с малкото зъбно колело.

По-големи концентрации на напрежение (около 35 МПа) се забелязват по спиците на зъбният венец (фигура 6,7) и отворите на фланеца, посредством който е монтиран към барабана на мелницата. На фиг. 8 се забелязва зона в корпуса на барабана, разположена от страната на зъбният венец. Наблюдава се сложно напрегнато състояние, породено от едновременното действие на центробежните сили, породени от масата на топките на мелницата и усукващият момент, предаван на барабана от зъбният венец. Възникващите напрежения са от порядъка на 35 – 40 МПа.

Локални концентрации се забелязват и в зоната на контакт между дъната и барабана.

Анализът на резултатите от извършения линеен статичен анализ показва, че най-големите стойности на напреженията и деформациите не надхвърлят допустимите за конкретния случай.

Литература

Дамянов Ц., Компютърно моделиране на механични системи, МГУ 2009.

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

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ДОПУСТИМАТА РАБОТНА ТЕМПЕРАТУРА В ЦЕНТРОБЕЖЕН САЧМЕН СЪЕДИНИТЕЛ

Любен Тасев¹, Венелин Тасев²

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

² Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. Извършено е лабораторно изследване при различни масла, различни контактни напрежения, и различни твърдости на работната повърхност за определяне на допустимата работна температура при центробежните сачмени съединители. Направен е анализ на получените резултати. Посочени са допустимите работни температури.

DETERMINATION OF THE PERMISSIBLE OPERATING TEMPERATURE IN A CENTRIFUGAL BALL JOINT

Lyuben Tasev¹, Venelin Tasev²

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

² University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia

ABSTRACT. Laboratory testing is performed in different oils, different contact pressures and various working surface hardness for determining the allowable operating temperature in a centrifugal ball joints. An analysis of results was made. Acceptable working temperatures are indicated.

Състояние на въпроса

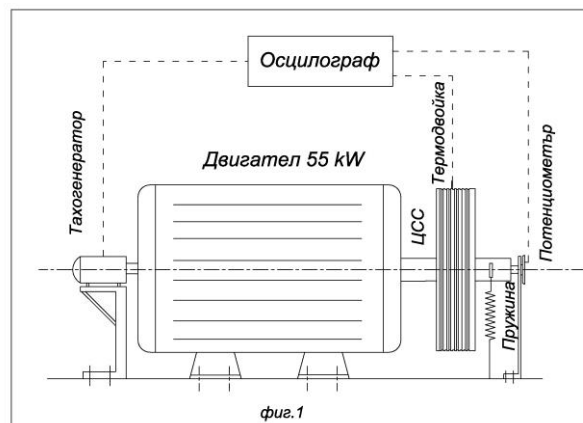
Центробежните сачмени съединители (ЦСС) за фрикционни механизми. Които в преходните процеси се нагряват. Температурата, до която ЦСС запазва своята работоспособност, без да променя значително изходните си характеристики има голямо значение за броя на включванията, които могат да се реализират с него за единица време. Това непосредствено определя възможностите за приложение на ЦСС в съответното задвижване. По тази причина определянето на тази температура и най-вече посочването на пътищата за нейното повишаване посочва една от възможностите за разширяване приложението на ЦСС в задвижванията на различните машини.

Опитна постановка

За изследване максимално допустимата работна температура на ЦСС се използва лабораторен модел (фиг.1).

На изследваните втулки, а те бяха три, се пробиха отвори, с дълбочина до 2 mm от вътрешната повърхност, за поставяне на термодвойки. Използваният стенд позволява регистриране и записване на:

- скоростта на двигателя;
- развивания от ЦСС въртящ момент;
- температурата на мантията.



За експерименталното изследване се използва втулки с твърдост и измерена грапавост както следва:

Стомана	Твърдост HRC
40X	40
40X	50
ШХ15	62

И масла М10С, М16 С, 90 Е и компресорно масло.

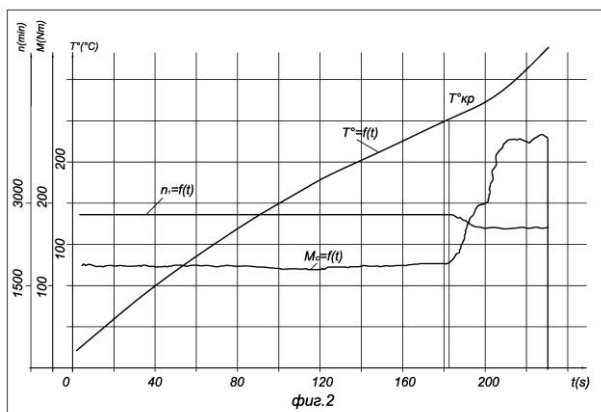
Методика на експерименталното изследване.

Методиката на експерименталното се състоеше в следното:

1. На лабораторния модел на ЦСС се залага определена втулка.
2. Поставят се сачми така, че да образуват завършени два, три и четири слоя / сачми с диаметър 11,95 mm/.
3. Налива се половин литър от съответното масло.
4. Включва се двигателя и се оставя съединителя да работи в режим на установено боксуване.
5. Прави се непрекъснат запис на скоростта на двигателя, моментът на ЦСС и неговата температура.
6. Следи се за значително изменение в предавания момент, като двигателя се изключва при превишаване на стойността му с 50% от нормалната.
7. Охлажда се ЦСС /лабораторния модел/ и експериментът се повтаря още два пъти.
8. Увеличава се сачмения пълнеж и всичко се повтаря.
9. Горното се изпълнява с всички видове масла.

Резултати от експерименталното изследване.

На базата на описаната методика се направиха значителен обем експериментални изследвания. Характерното за процеса е следното /виж фиг.2/.



1. С включването на двигателя моментът на ЦСС се установява на определена стойност, в зависимост от количеството пълнеж и почти не зависи от използваното масло.
2. Температурата на ЦСС непрекъснато се покачва, като моментът практически не се променя.
3. При достигането на определена температура, моментът на ЦСС значително нараства и с него и градиентът на изменение на температурата. Тази стойност на температурата се счита за гранично допустима в работата на ЦСС.
4. Данните от получените критични стойности на температурата за съответните натоварвания и масла са представени в таблица 2.

Таблица 2

Масло	Твърдост	N	I	II	III
M10C	40	70	330	240	260
		96.5	240	260	230
		118.2	196	208	212
	50	70	185	207	200
		96.5	163	172	158
		118.2	147	162	158
	62	70	130	120	105
		96.5	108	111	128
		118.2	83	98	92
M16C	40	70	308	340	312
		96.5	260	270	263
		118.2	240	248	232
	50	70	230	207	212
		96.5	202	180	183
		118.2	173	142	181
	62	70	208	202	176
		96.5	172	158	163
		118.2	146	147	153
90 EP	40	70	280	282	304
		96.5	232	201	189
		118.2	176	183	186
	50	70	214	207	184
		96.5	203	192	197
		118.2	194	183	171
	62	70	203	218	194
		96.5	183	178	169
		118.2	185	164	173

Масло	Твърдост	N	I	II	III
Компресорно масло	40	70	282	203	295
		96.5	215	237	223
		118.2	228	223	202
	50	70	247	221	207
		96.5	203	218	215
		118.2	211	187	193
	62	70	171	132	147
		96.5	167	181	188
		118.2	140	163	187

Анализ на получените резултати.

Получените резултати се различават от нашите очаквания като:

1. Критичната температура значително зависи от натоварването на сачмите N_r , като с неговото нарастване тя спада.
2. Критичната температура зависи много от използваното масло, като в случая определено значение има не само вискозитета, но и качествата му. Моторните масла допускат работи при значително по-високи температури, особено при малки натоварвания и при по-меките втулки.
3. По-меките втулки допускат значително по-високи критични температури, което може да се обясни със значително по-малката равновесна грапавост, до която те достигат след сработване на повърхностите.

ИЗВОДИ

1. Допустимата работна температура за всички условия на проведеното експериментално изследване може да се приеме до 180 °C.
2. Моторните масла допускат по-висока критична температура, но за малки натоварвания на сачмите.
3. За всички условия на работа най-подходящо е трансмисионното масло 90EP.

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

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ОТНОСИТЕЛНАТА ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТ НА БАРАБАННА ТОПКОВА МЕЛНИЦА ТИП МТЦ 4,5Х6 РАБОТЕЩА В УСЛОВИЯТА НА ФАБРИКА „ЕЛАЦИТЕ“

Иван Минин¹, Петко Недялков²

¹Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, E-mail: minin@dir.bg

²Технически университет, 1000 София, E-mail: nedpetko@tu-sofia.bg

РЕЗЮМЕ. Създаден е математичен модел на процеса смилане в барабанна топкова мелница. Определени са управляващите фактори и целевата функция – относителна производителност. Направен е пасивен факторен експеримент в обогатителна фабрика преработваща медни руди. Експериментът е върху барабанни топкови мелници тип МТЦ 4,5х6. Резултатите от експеримента са подложени на анализ посредством програмите Excel и Statgraphics. Получена е функционална зависимост между целевата функция и управляващите фактори.

STUDY OF RELATIVE PRODUCTIVITY OF TUMBLING BALL MILLS TYPE 4,5X6 WORKING UNDER THE CONDITIONS OF PROCESSING PLANT “ELACITE”

Ivan Minin, Petko Nedyalkov

¹University of Mining and Geology „St. Ivan Rilski“, 1700 Sofia, E-mail: minin@dir.bg

²Technical University, 1000 Sofia, E-mail: nedpetko@tu-sofia.bg

ABSTRACT. This paper establishes a mathematical model of the process of grinding in tumbling ball mills. It defines the control factors and the target function – relative productivity. A passive experiment is made in a copper ore processing plant. The experiment is based on tumbling ball mills type 4,5x6. The results of the experiment have been subjected to analysis through Excel and Statgraphics. A functional dependence has been established between the target function and the control factors.

Избор на управляващи фактори и целева функция

В тази статия целта на проведеното изследване е да се опише с математически средства относителната производителност по готов продукт към единица обем на барабана на барабанната топкова мелница. За целта бяха направени измервания върху мелници тип МТЦ 4,5х6 работещи в условията на „Елаците мед“ – АД. Измерванията обхващат периода от 01.01.2004г. до 26.09.2006г. и се отнасят за 4 броя мелници с номера 4, 6, 7 и 8. Измерванията са сравнително ограничени по брой но това бе обосновано от факта, че те се правени само при аварийно и планово-ремонтно спиране на мелниците през този период. Като управляващи фактори в изследването са определени следните параметри:

1. Вътрешна дължина на барабана на мелницата L_B, m . Дължината е определена посредством направени измервания.

2. Вътрешен диаметър на барабана на мелницата D_B, m . Този параметър се определя посредством направени измервания.

3. Маса на смилащата среда M_T, t . Този параметър се изчислява като работният обем на барабана се умножи по коефициентът на запълване с топки и полученото произведение се умножи по плътността на топките, която зависи от диаметъра им.

4. Натоварване на мелницата с руда $Q, t/h$. Този параметър е измерен посредством електронна везна монтирана на лентовия транспортър захранващ мелницата.

5. Съдържание на класа -15 в постъпващата руда $K_{-15}, \%$. Този параметър е получен след ситов анализ на постъпващата в мелницата руда в момента на измерването на другите параметри. Това е отношението на класата - 15 към всичката постъпваща руда.

6. Съдържание на шисти на постъпващата руда $K_{ш}, \%$. Този параметър е получен след ситов анализ на постъпващата в мелницата руда в момента на измерването на другите параметри.

За целева функция е избрана относителната производителност по готов продукт към единица обем на барабана на мелницата $q, t/hm^3$, като тя се получава:

$$q = \frac{Q.K}{V} = \frac{(Q_{BX} - Q_C).K}{V}, t/hm^3 \quad (1)$$

където q е относителна производителност по готов продукт към единица обем, относителна производителност по готов продукт към единица обем, t/hm^3 ;

Q_{BX} - натоварване на мелницата с руда, t/h . Този параметър се измерва посредством електронна везна поставена на захранващата лента на мелницата;

Q_C - количеството не смлян продукт (скрап) излизащ от мелницата, t/h . Този параметър се измерва на изхода на мелницата;

K - качеството на смляния продукт, % - отношението на класа – 0,08 към общото количество смляна руда. Този параметър е получен след ситов анализ.

V - вътрешен обем на барабана, m^3 . Този параметър се изчислява.

Като разгледаме внимателно измерените параметри можем да определим следните управляващи фактори:

- L_B - Дължина на барабана, m ;
- D_B - вътрешен диаметър на барабана, m ;
- K_{-15} - съдържание на класа -15 във входящата руда, %;
- Q - натоварването на мелницата с руда, t/h ;
- M_T - маса на смиланата среда, t ;
- $K_{ш}$ - съдържание на шисти в рудата, %.

Получените, резултати от измерванията в "Елаците-мед" АД са преработени и показани в таблица 1.

Статистически анализ

Започваме изследването матрицата на Фишер показана на таблица 1. След обработка на данните получаваме резултати показани в таблица 2.

Таблица 1

№	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	Y_2
	D_B, m	L_B, m	M_T, t	$K_{-15}, \%$	$Q, t/h$	$K_{ш}, \%$	$q, t/hm^3$
1.	4,08	6,26	151,1	88,9	146	19,2	1,08
2.	4,23	6,23	136,2	86,6	153	15,1	0,974
3.	4,25	6,23	134,6	89,2	147	19,1	0,888
4.	4,27	6,25	129,8	92,8	145	15,9	0,847
5.	4,27	6,27	148,1	91,3	154	36,6	0,948
6.	4,19	6,16	146,3	91,4	145	32,5	1,003
7.	4,3	6,2	115,2	87,2	142	26,9	0,855
8.	4,07	6,2	143,4	87,6	136	11,3	0,994
9.	4,1	6,25	131,7	84,2	132	25,5	0,906
10.	4,12	6,15	134,8	89	138	29,8	0,957
11.	4,2	6,2	148,7	89,5	152	30,1	1,032
12.	4,2	6,2	146,2	89,1	142	29,4	0,977
13.	4,24	6,18	141,6	89,4	145	40	0,968
14.	4,25	6,24	160,9	88,5	145	15,2	0,992

15.	4,27	6,27	162,2	76,2	150	19,9	0,978
16.	4,14	6,18	145,7	89	138	29,8	0,94
17.	4,2	6,2	158,7	92,7	150	27,3	0,964
18.	4,23	6,25	155,7	93	147	24,6	0,938
19.	4,25	6,27	147	89,4	147	36,9	0,963
20.	4,27	6,22	149,5	92,4	148	45,7	0,912
21.	4,14	6,21	174,4	87	140	18,8	1,046
22.	4,18	6,28	166,5	85,8	138	41,6	0,934
23.	4,22	6,31	156,9	87,1	144	20,2	0,897
24.	4,22	6,31	162	93,2	130	32,6	0,806
25.	4,22	6,33	148,5	92,3	154	25,7	0,99
26.	4,23	6,35	154,3	92,3	155	28,5	0,927
27.	4,32	6,22	139	87,2	160	35,4	0,949
28.	4,11	6,15	127,4	79,8	135	22	0,888
29.	4,18	6,22	137,6	92,2	133	24,8	0,842
30.	4,25	6,3	147,1	92,1	141	15,7	0,938
31.	4,18	6,16	144,9	91	153	27,8	0,948
32.	4,24	6,14	161,9	91	154	19	1,001
33.	4,25	6,15	166,1	92	155	21,6	1,035
34.	4,26	6,2	166,5	89	152	24,7	0,902
35.	4,1	6,2	147,7	91,6	155	33,7	1,052
36.	4,12	6,24	149,1	85	160	41,7	1,083
37.	4,23	6,32	158,7	89	155	25,9	1,003
38.	4,27	6,22	149,5	92	148	45,7	0,912
39.	4,3	6,24	155,7	92	144	45	0,871
40.	4,3	6,25	150,8	92	144	38,5	0,855
41.	4,3	6,25	147	89	123	47,9	0,728
42.	4,21	6,28	143,3	92	165	25,8	0,989
43.	4,24	6,29	151,8	90	143	35,4	0,878
44.	4,24	6,33	160,5	89	155	27,6	0,907
45.	4,25	6,15	157,4	90	157	33	0,941

След оценката на значимост на коефициентите на регресия и оценка на адекватността на уравнението се съставя нова матрица на Фишер (таблица 3), в която са изключени не значимите фактори и анализът се повтаря отново. Окончателните резултати от статистическия анализ са дадени в таблица 4.

Броят на набелязаните първоначални управляващи фактори се съкращава, след което се определят и отсяват съществени от несъществени управляващи фактори. Избора на съществени фактори се извършва като се проследят следните етапи: първо – избират се съществени фактори на базата на проучването на същността на обекта. Този етап е ефикасен само при не много сложни и добре проучени обекти. В противен случай, следващият етап е – избор на съществени фактори на ранжиране. Този етап се извършва чрез помощта на анкета на добри специалисти в областта. Когато и мнението на специалистите не съпада съществени фактори се получават чрез провеждане на предварителни експерименти. Идеята за експерименталното отсяване на факторите се базира на допускането, че съществени фактори ще проявят своя ефект при сравнително малко експериментални данни.

Таблица 2

SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	0,86368							
R Square	0,745943							
Adjusted R Square	0,705829							
Standard Error	0,038903							
Observations	45							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance F			
Regression	6	0,168857	0,028143	18,59546	5,97E-10			
Residual	38	0,05751	0,001513					
Total	44	0,226367						
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	3,959963	0,723221	5,475453	2,98E-06	2,495879	5,424048	2,495879	5,424048
X Variable 1	-0,62024	0,102282	-6,06407	4,65E-07	-0,8273	-0,41319	-0,8273	-0,41319
X Variable 2	-0,19786	0,11204	-1,76599	0,085432	-0,42467	0,028952	-0,42467	0,028952
X Variable 3	0,001414	0,000523	2,705662	0,01015	0,000356	0,002473	0,000356	0,002473
X Variable 4	-0,00159	0,001822	-0,87009	0,389716	-0,00527	0,002103	-0,00527	0,002103
X Variable 5	0,005326	0,000707	7,53699	4,67E-09	0,003895	0,006756	0,003895	0,006756
X Variable 6	-0,00066	0,000671	-0,97843	0,334051	-0,00201	0,000702	-0,00201	0,000702

Таблица 3

№	X_1, X_1, X_2	X_3	X_5	Y_2
	D_5, D_5, L_5, m^3	M_T, t	$Q, t / h$	$q, t / hm^3$
1.	104,21	151,1	146	1,08
2.	111,47	136,2	153	0,974
3.	112,53	134,6	147	0,888
4.	113,96	129,8	145	0,847
5.	114,32	148,1	154	0,948
6.	108,15	146,3	145	1,003
7.	114,64	115,2	142	0,855
8.	102,70	143,4	136	0,994
9.	105,06	131,7	132	0,906
10.	104,39	134,8	138	0,957
11.	109,37	148,7	152	1,032
12.	109,37	146,2	142	0,977
13.	111,10	141,6	145	0,968
14.	112,71	160,9	145	0,992
15.	114,32	162,2	150	0,978
16.	105,92	145,7	138	0,94
17.	109,37	158,7	150	0,964
18.	111,83	155,7	147	0,938
19.	113,25	147	147	0,963
20.	113,41	149,5	148	0,912
21.	106,44	174,4	140	1,046
22.	109,73	166,5	138	0,934

23.	112,37	156,9	144	0,897
24.	112,37	162	130	0,806
25.	112,73	148,5	154	0,99
26.	113,62	154,3	155	0,927
27.	116,08	139	160	0,949
28.	103,89	127,4	135	0,888
29.	108,68	137,6	133	0,842
30.	113,79	147,1	141	0,938
31.	107,63	144,9	153	0,948
32.	110,38	161,9	154	1,001
33.	111,08	166,1	155	1,035
34.	112,52	166,5	152	0,902
35.	104,22	147,7	155	1,052
36.	105,92	149,1	160	1,083
37.	113,08	158,7	155	1,003
38.	113,41	149,5	148	0,912
39.	115,38	155,7	144	0,871
40.	115,56	150,8	144	0,855
41.	115,56	147	123	0,728
42.	111,31	143,3	165	0,989
43.	113,08	151,8	143	0,878
44.	113,80	160,5	155	0,907
45.	111,08	157,4	157	0,941

SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	0,855703							
R Square	0,732227							
Adjusted R Square	0,712634							
Standard Error	0,03845							
Observations	45							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance F			
Regression	3	0,165752	0,055251	37,37157	8,34E-12			
Residual	41	0,060615	0,001478					
Total	44	0,226367						
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	1,351538	0,190874	7,080793	1,27E-08	0,966061	1,737016	0,966061	1,737016
X Variable 1	-0,01257	0,001624	-7,73852	1,52E-09	-0,01585	-0,00929	-0,01585	-0,00929
X Variable 2	0,001371	0,000507	2,703402	0,009944	0,000347	0,002394	0,000347	0,002394
X Variable 3	0,005322	0,000689	7,728088	1,58E-09	0,003931	0,006712	0,003931	0,006712

За целевата функция Y получаваме следният модел на регресия:

$$Y = 1,351 - 0,0126.X_1.X_2 + 0,0014.X_3 + 0,0053.X_5 \quad (2)$$

Или написана с действителните параметри моделът изглежда по следния начин:

$$q = 1,351 - 0,012.D_E.D_E.L_E + 0,0014.M_T + 0,0053.Q \quad (3)$$

От полученият модел (формула) е видно, че относителната производителност ще е стойност близка до една константа 1,351. Това се дължи от фактът, че експериментът е пасивен и входящите фактори се изменят в малък интервал. От друга страна програмата Regression от Data Analysis на Excel не позволява получаване на зависимост без константа.

Поради тези причини резултатите от експеримента ги обработваме статистически и с програмата STATGRAPHICS, която е по подходяща за научни изследвания. Получихме четири модела, два с константа, а другите без такава. Параметрите на моделите са показани в таблици 5, 6, 7 и 8.

Таблица 5. Параметри на модел №1

Multiple Regression				
Dependent variable: q				
E independent variable:		Standard	T	
Parameter	Estimate	Error	Statis	P-Value
CONSTANT	1.35154	0.190874	7.080	0.0000
$D_E.D_E.L_E$	-0.0125712	0.0016245	-	0.0000
M_T	0.00137058	0.000506983	2.703	0.0099
Q	0.00532172	0.000688621	7.728	0.0000

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	0.165752	3	0.05525	37.37	0.00
Residual	0.0606149	41	0.001478		
Total	0.226367	44			

R-squared = 73.2227 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 71.2634 percent
Standard Error of Est. = 0.0384501
Mean absolute error = 0.0307293
Durbin-Watson statistic = 1.50881 (P=0.0331)
Lag 1 residual autocorrelation = 0.185999

$$q = 1,35 - 0,012.D_E.D_E.L_E + 0,0013.M_T + 0,0053.Q \quad (4)$$

Таблица 6. Параметри на модел №2

Multiple Regression							
Dependent variable: q							
E independent variable:					Standard	T	
Parameter	Estimate	Error	Statistic	P-Value			
$D_B.D_B.L_B$	-0.00327	0.00140	-2.3226	0.0251			
M_T	0.002124	0.00073	2.90925	0.0058			
Q	0.006737	0.00097	6.94028	0.0000			
Analysis of Variance							
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P Value		
Model	40.1135	3	13.3712	4167.97	0.00		
Residual	0.13473	42	0.00320				
Total	40.2482	45					

R-squared = 99.6652 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 99.6493 percent
Standard Error of Est. = 0.0566399
Mean absolute error = 0.0461545
Durbin-Watson statistic = 1.03504
Lag 1 residual autocorrelation = 0.403769

$$q = -00327.D_B.D_B.L_B + 002124.M_T + 0,00674.Q \quad (5)$$

Таблица 7. Параметри на модел №3

Multiple Regression					
Dependent variable: q					
E independent variable:		Standard	T		
Parameter	Estimate	Error	Statistic	P-Value	
D_B	-0.02334	0.0423129	-0.55169	0.584	
Q	0.005531	0.0010767	5.1371	0.000	
M_T	0.001542	0.0007842	1.9674	0.055	
Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P Value
Model	40.097	3	13.3658	3718.80	0.00
Residual	0.1509	42	0.003591		
Total	40.248	45			

R-squared = 99.6249 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 99.6071 percent
Standard Error of Est. = 0.0599508
Mean absolute error = 0.0485573
Durbin-Watson statistic = 1.15291
Lag 1 residual autocorrelation = 0.346883
 $q = -0,02334.D_B + 0,00553.Q + 0,00154.M_T$ (6)

Таблица 8. Параметри на модел №4

Multiple Regression					
Dependent variable: q					
E independent variable:		Standard	T		
Parameter	Estimate	Error	Statistic	P-Value	
D _B	-0.7024	0.096402	-7.2865	0.00	
Q	0.00118	0.000523	2.26087	0.029	
M _T	0.00538	0.000715	7.53191	0.00	
Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P Value
Model	0.161377	3	0.05379	33.94	0.00
Residual	0.06499	41	0.00158		
Total	0.226367	44			

R-squared = 71.29 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 69.1892 percent
Standard Error of Est. = 0.0398136
Mean absolute error = 0.0317801
Durbin-Watson statistic = 1.36343 (P=0.0091)
Lag 1 residual autocorrelation = 0.289627

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

$$q = 2,938 - 0,70244.D_B + 0,001183.M_T + 0,005388.Q \quad (7)$$

От всички получени модели с най-добри показатели (Таблица 6) е модел №2 и той може да бъде оценен като модел с голяма адекватност. Коефициентът на множествена корелация R^2 е 99,6%, а коригираният коефициент на множествена корелация $R^2(adj)$ е над 99%. Този модел има най-добри показатели на оценка спрямо всички останали. Стойността на показателя на доверителна вероятност **P-Value** за модела е под критичната **0,05**, т.е. може да се приеме, че моделът е адекватен с доверителна вероятност над 99%. Тогава уравнението на модела с натурални променливи е:

$$q = -00327.D_B.D_B.L_B + 002124.M_T + 0,00674.Q \quad (8)$$

Изводи

Относно получените резултати от измерванията и статистическия анализ на относителната производителност по преработена руда към единица обем на мелницата можем да направим следните изводи:

- относителната производителност по преработена руда към единица обем на мелницата се влияе в голяма степен от четири параметъра, а именно от вътрешният диаметър и дължина на мелницата, натоварването на машината с руда и количеството на смилащите тела;

- повишаването на натоварването на мелницата с руда води до нарастване на относителната производителност на машината;

- повишаването на количеството топки води до нарастването на относителната производителност;

- увеличаването на износването на облицовките на мелницата което увеличава вътрешния диаметър и дължина на барабана води до намаляване на относителната производителност на машината.

Литература

- Вучков, И.А., Стоянов, С.К., "Математическо моделиране и оптимизация на технологични обекти", София, Техника, 1980г.
- Божанов Емил С., Вучков Иван Н., "Статистически методи за моделиране и оптимизиране на многофакторни обекти", София, Техника, 1973 г.
- Божанов Емил С., Вучков Иван Н., "Статистически решения в производството и научните изследвания", София, Техника, 1979г.

ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА РАЗМЕРИТЕ НА СМИЛАЩИТЕ ТОПКИ ВЪРХУ ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ НА ВИБРАЦИОННА МЕЛНИЦА

Петко Недялков

Технически Университет – София, 1756 София, nedpetko@tu-sofia.bg

РЕЗЮМЕ: В работата са анализирани експериментални резултати от проведен многофакторен планиран експеримент по отношение връзката между механични и технологични параметри на вибрационна мелница. Статията е фокусирана върху изследване на влиянието на размерите на смилещите топки върху характеристиките на вибрационната мелница и на готовия продукт.

Ключови думи: вибрационна мелница, смилещи тела, зърнометричен състав.

RESEARCH OF MILLING BALLS DIMENSIONS INFLUENCE OVER THE CHARACTERISTICS OF VIBRATING COMMUNUTION MILL

Petko Nedyalkov

Technical University of Sofia, 1756 Sofia, nedpetko@tu-sofia.bg

ABSTRACT: This paper deals with analysis of experimental results of one multi – variable experiment pointed to discover the connections between mechanical and technological parameters in one vibrating mill. The paper is focused on research of influence from milling balls dimensions to the vibrating mill characteristics and outgoing production. Keywords: vibrating mill, milling bodies, granulometrics.

ВЪВЕДЕНИЕ

Смилането е завършващият процес от подготовката на суровините в обогатителната, строителната и преработващата промишлености. Това е и най-енергопоглъщащият процес в тази завършваща фаза. Използваните машини в общия случай са със сравнително проста конструкция, но за сметка на тази конструктивна простота, мелниците за минерални и неминерални материали са машини със сложна, а понякога и нееднозначна връзка между механични и технологични параметри.

Сложността на връзките между механични и технологични характеристики и връзката с високата енергопоглъщаемост на процеса дават причина за конкретно изследване обект на коментар в настоящата статия.

В общия случай смилането на дадена суровина в машина със смилещи тела води до износването на същите смилещи тела, като това износване е свързано с технологичната характеристика на мелницата. Тъй като процесите на износване са многофакторни в литературата не се срещат теоретични модели на взаимовръзка между износването на мелещите тела и технологичните характеристики, а от там и на механичните характеристики на мелничните агрегати. В общия случай се използват емпирични зависимости за конкретна машина.

Настоящата разработка анализира резултатите от проведен многофакторен активен експеримент върху работата на вертикална вибро – импулсна мелница работеща със смилещи топки. Смилещите тела са от търкалящи тела за съчмени лагери, които не отговарят на качествените критерии в производството на лагери.

Материалът и начинът на изработка за различните размери топки са еднакви, което определя и еднаквите им характеристики като смилещи тела.

Вертикалната вибро – импулсна мелница /ВВИМ/ е прототипна изработка и не е предназначена за непрекъсната работа (Недялков 2009). Смилането на материалите във ВВИМ е с приоритет на стриване на частичките материал между стените на смилещите тела. Ударът между частиците и телата може да се твърди че не влияе върху смилането във ВВИМ (Цветков 1988, Цуцков 1985).

ИЗСЛЕДВАНЕ

Изследването е проведено върху натурен модел на вертикална вибро – импулсна мелница при изменение на шест фактора – честота на вибрационното активиращо въздействие (f_u); размер на входящия материал (b_m); диаметър на смилещите топки (d_t); време за смилане (t); запълване на мелничната камера с топки (G_t); запълване с материал (ψ_m).

Получените резултати от активният експеримент (Недялков 2009) са статистически обработени и са изведени регресионни модели характеризиращи три целеви функции – зърнометричен състав по краен продукт (качество, Q_u), производителност по краен продукт (Q), относителен енергоразход по краен продукт (W_e).

В този случай факторите – диаметър на смилещите тела и запълването на мелничната камера със смилещи тела са

променяни активно с цел изследване на влиянието им върху избраните целеви функции. Факторът диаметър на смилещите тела е изменян на три нива - $d_t = [7; 11; 15]$, mm, а факторът запълването на мелничната камера със смилещи тела - $G_t = [20; 30]$, daN.

Статистическият анализ на резултатите дава основание от няколко статистически значими (Вражилски 2009, Лазов 2008) и адекватни модели описващи избраните целеви функции, да бъдат предпочетени конкретни модели за всяка от целевите функции имащи най - добри статистически критерии за приемане.

За целевата функция зърнометричен състав по краен продукт (качество) е предпочетен следният модел:

$$Q_u = -0,855 * f_u + 30,473 * b_m - 77,511 * t + 4,579 * G_t - 11,394 * \psi_m - 7,205 * b_m^2 + 0,038 * d_t^2 + 143,395 * t^2 - 0,094 * G_t^2, \% \quad (1)$$

Целевата функция зърнометричен състав е взета като тегловно процентно съдържание на класата готов продукт в общия обем на смления материал, в този случай е следена класата - 160 μ m.

За целевата функция производителност по краен продукт е предпочетен следният модел:

$$Q = -0,482 * f_u + 0,693 * b_m + 0,365 * d_t - 0,678 * t + 1,139 * G_t + 0,004 * f_u^2 - 0,195 * b_m^2 - 0,010 * d_t^2 - 0,021 * G_t^2, kg/h \quad (2)$$

Целевата функция производителност по краен продукт е количеството готова продукция от следената класа - 160 μ m за единица време.

За целевата функция относителен енергоразход по краен продукт е предпочетен следният модел:

$$W_e = 3,827 * f_u + 3,007 * b_m + 1,848 * d_t - 8,872 * t - 9,435 * G_t + 21,253 * \psi_m - 0,026 * f_u^2 + 0,171 * G_t^2, W h/kg \quad (3)$$

При така описаните фактори и целеви функции се разглежда практическата постановка при която някои от факторите в реалният технологичен процес не могат да бъдат изменяни или контролирани. В случая работим с фиксирани честота на вибрационното въздействие (f_u), време за смилане (t), размер на входящия материал (b_m) и запълване на мелничната камера с материал (ψ_m). Тези ограничения са обусловени от технологичните условия на експлоатация на подобен род машини. Времето за смилане и честотата на вибрационното въздействие зависят от началната настройка на машината и в процеса на работа не се донастройват. Тези режимни настройки могат да се изменят, но не и в процеса на работа. Размерът на входящия материал зависи от пресевната инсталация поставена на входа на машината и в този случай се приема, че тази инсталация работи с постоянна

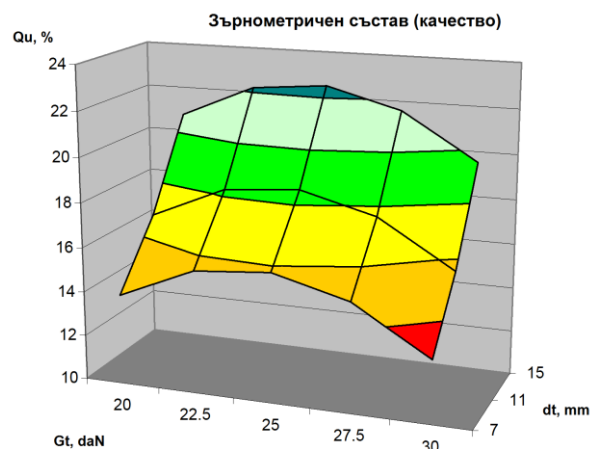
характеристика, като размерите на входящия материал са взети като средна стойност между размерите на двете сита определящи съответният клас $d_s = [5,15; 1,94; 0,91; 0,48]$, mm. Запълването с материал е фиксирано на максимално ниво с цел да се използва максимално работното пространство на машината. Факторът запълване с материал е приет с размерност маса на материала за единица обем на топките в мелничната камера.

РЕЗУЛТАТИ

При гореописаните условия може да се каже, че се разглежда случаят на работеща вибрационна мелница при която за се влияе върху технологичните и характеристики се изменят само два фактора - запълване на мелничната камера с топки (G_t) и размери на смилещите тела (d_t). Този случай на активният експеримент се доближава максимално до практический случай на машина при която в процеса на работа се износват мелещите тела и е възможно да се отнеме или добави допълнително количество мелещи тела.

Резултатите са дадени в графичен вид при фиксирани фактори както следва:

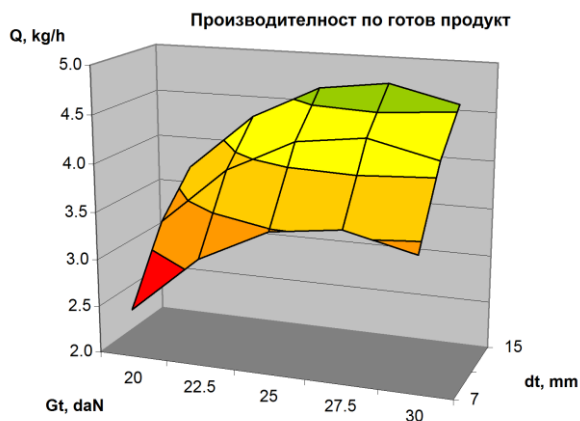
- $f_u = 50$ Hz ;
- $b_m = 0,695$ mm ;
- $t = 0,333$ h ;
- $\psi_m = 0,6$ kg/dm³



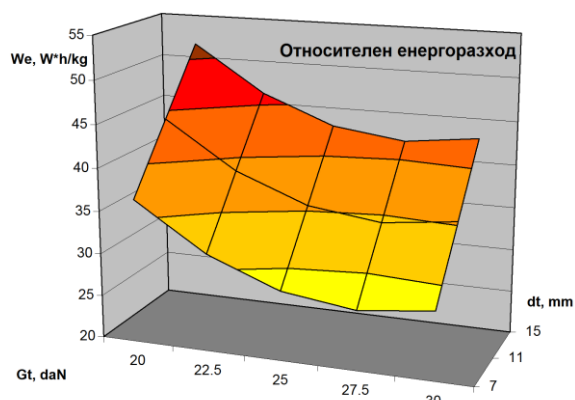
Фиг. 1. Зърнометричен състав (качество) по ур - е №1.

Графичното представяне на зависимостта на зърнометричния състав по краен продукт - фиг. 1. показва ясна тенденция за намаляване на процентното съдържание на класата готов продукт при намаляване на размерите на топките. На същата графика се вижда, че промяната на запълването на мелничната камера с топки не променя стойността на функцията качеството.

Зависимостта на производителността по краен продукт показана на фиг. 2 показва тенденция за намаляване на функцията свързана с намаляването на размерите на смилещите тела. Увеличаването на запълването на камерата с мелещи тела влияе положително върху производителността.



Фиг. 2. Производителност по готов продукт по ур - е №2.



Фиг. 3. Относителен енергоразход по готов продукт по ур - е №3.

Зависимостта на енергоразхода за производство на единица готов продукт – фиг. 3 показва ясна тенденция за намаляване на функцията свързано с намаляването на размерите на смилащите тела. Увеличаването на запълването а мелничната камера със смилащи тела влияе положително върху енергоразхода, като във случая положителната посока на изменение е посоката на намаляване. Тази тенденция може да се обясни със способността на малките по размери тела да смилат по – лесно частичките материал попаднали между тях.

ИЗВОДИ

В резултат на анализът от горепосочените изследвания могат да се формулират следните изводи:

- Качественото изражение на технологичните параметри на вертикалната вибро – импулсна мелница /ВВИМ/ – зърнометричният състав на готовата продукция се влияе негативно от намаляването на размерите на смилащите топки;
- Количественото изражение на технологичната характеристика на ВВИМ – производителността по готов продукт се влияе също така негативно от намаляването на размерите на смилащите топки. За управление на производителността е възможно увеличаването на запълването на мелничната камера със смилащи тела;
- Енергетичната характеристика на ВВИМ – енергоразхода за производство на единица готов продукт се влияе положително от намаляването на размерите на

смилащите тела. Също така е възможно управлението на енергоразхода с увеличаване на запълването на мелничната камера със смилащи тела.

Тъй като в технологичните характеристики на повечето машини превес имат качествената и количествената характеристика на машината спрямо енергетичната, може да се определи, че за разглеждания случай намаляването на размерите на смилащите тела влияе негативно върху технологичната характеристика на ВВИМ. Тези резултати са аналогични на подобни изследвания върху други типове мелници например барабанните топкови мелници, където влияние върху смилането има и енергията на удара между топките който от своя страна е свързан с масата и размерът на смилащите тела.

Изследваната машина е прототипна разработка и съответните ѝ количествени показатели не могат да бъдат сравнявани с промишлени машини. Също така поради факта, че експерименталните зависимости на изследваните целеви функции са изведени за ограничена област от изменението на управляващите фактори, то обхваща на тези функции не може да бъде разширяван извън съответната област.

Подходът на контролиран активен експеримент с изменение на размерите на смилащите тела може да бъде използван за извеждане на зависимост на работата на мелници при износване на смилащите тела. Методиката на това изследване е приложима и върху други типове мелници работещи на подобен принцип на работа.

ЛИТЕРАТУРА

- Вражилски Д. Ц., Е. Асенов, В. Панов. 2009. „Теоретико - експериментално изследване на работния процес на вибрационен сепаратор с плоска неперфорирана повърхност”. Сборник доклади V конференция с международно участие ММЕ '09. ISSN 1314 - 040X София, Технически Университет. стр. 49 – 58
- Лазов Л. Н., Асенов Е., 2008. „Оптимално управление на процеса на трошене при ударно – отражателна трошачка”. Българско списание за инженерно проектиране бр.1, ISSN 1313-7530, стр. 136 – 141
- Недялков П. Н. 2009. „Динамично моделиране и изследване на работния процес и параметри на вертикална вибро – импулсна мелница” – Автореферат на дисертационен труд за получаване на ОНС „доктор”. София, Технически Университет
- Цветков Х., „Обогатителни машини”, ДИ „Техника”, София 1988.
- Цуцков Е. А., „Създаване на нов тип вибрационна мелница и изследване работния процес и параметрите ѝ”, Дисертация, ВМЕИ - София, МФ, София 1985

Публикацията е финансирана по договор НФИУ № 10000 на НИС при ТУ - София

ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА РЕБОРДИТЕ НА ХОДОВИТЕ КОЛЕЛА НА МОСТОВ КРАН В УСЛОВИЯ НА СЕИЗМИЧНО ВЪЗДЕЙСТВИЕ

Калин Радлов¹, Лъчезар Лазов²

¹ Университет по архитектура, строителство и геодезия, 1046 София, E-mail: kradlov@abv.bg

² Технически Университет- София, 1756 София, E-mail: lcho@mail.bg

РЕЗЮМЕ. Настоящата разработка е посветена на разработване на методика за определяне на големината на силата на удар на реборд на ходово колело на мостов кран в глава релса при сеизмично въздействие, на база на която се извършва и оразмеряването на реборда на ходовото колело в условия на сеизмично въздействие. Силата на удар се определя от гледна точка на теорията на удара на база на скоростта на плъзгане на ходовото колело върху релсата. Накрая е показан и конкретен числен пример, който илюстрира и практическото приложение на тази методика.

Ключови думи: мостов кран, реборд, сеизмично въздействие, сила на удар

TRAVELLING WHEELS FLANGE STRENGTH CALCULATIONS OF BRIDGE CRANE IN CASE OF EARTHQUAKE

Kalin Radlov¹, Lachezar Lazov²

¹ University of architecture, civil engineering and geodesy, 1046 Sofia, E-mail: kradlov@abv.bg

² Technical University- Sofia, 1756 Sofia, E-mail: lcho@mail.bg

ABSTRACT. The present development is devoted to methodology development for determining the stroke force between bridge crane travelling wheel flange and the rail top in case of earthquake, and on this base, are performed the wheel flange strength calculations in case of earthquake. This force is determined on the base of stroke theory and the travelling wheel sliding velocity on the rail. At the end, on the base of this methodology is given a particular example, which illustrate the application of this methodology.

Key words: bridge crane, flange, seismic action, stroke force

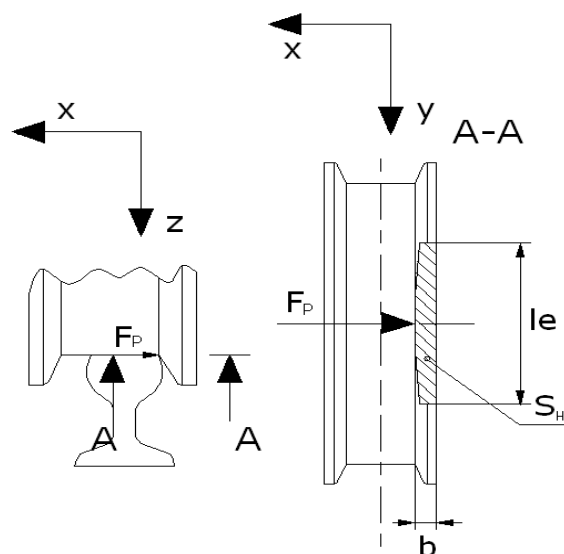
Въведение

По отношение на ходовите колела на мостов кран и техните реборди, то диаметърът и формата на профила на венца на ходовите колела, на проектираните у нас мостови кранове, в повечето случаи не се подлагат на специална якостна проверка, а са стандартизирани съгласно стандарт БДС 1610-72 и се избират от таблица [1]. Също така е известно обаче, че сеизмичните трептения, се предават от носещата конструкция на сградата към носещата конструкция на мостовия кран през релсата, посредством силите на триене, възникващи между търкалящата повърхнина на ходовото колело и повърхнината на глава релса. Така в резултат на тези сеизмични трептения е напълно възможно в условия на сеизмично въздействие да се получи плъзгане, при което да се стигне до челен удар на реборда на ходовото колело в главата на релсата на подкрановия път със сила F_p [kN] (фиг.1).

Тогава якостната проверка и оразмеряването по тангенциални напрежения на срязване в реборда, в резултат от тази сила на удар F_p [kN], се извършват съгласно уравнение (1)

$$\tau_p = \frac{F_p}{S_H} \leq [\tau] \quad (1)$$

където $[\tau]$ е допустимата стойност на тангенциалните напрежения;



Фиг.1. Схема на удар на реборд на ходово колело в глава релса

S_H — лицето на сечението от реборда поемащо натоварването (фиг.1), кето се изчислява съгласно уравнение (2)

$$S_H = b * l_e \quad (2)$$

където l_e е линеен параметър на ходовото колело на крана (фиг.1);

b — дебелината на реборда на ходовото колело на крана (фиг.1).

Целта на настоящата разработка е да се разработи методика за определяне на големината на силата на удар на реборд на ходово колело в глава релса, на база на която да се извърши и оразмеряването на реборда на ходовото колело в условия на сеизмично въздействие.

Изчисляване на силата на удар

Разглеждаме удара на реборд на ходово колело в глава релса, като прав удар на две тела. Тогава големината на ударния импулс изчисляваме по формула (3) [2].

$$S = (1 + k) \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot (v_1 - v_2) \quad (3)$$

където $(v_1 - v_2)$ е разликата между скоростта на движение на релсата и скоростта на движение на ходовото колело на крана. В случая тази разлика представлява скоростта на плъзгане на ходово колело върху релса $\dot{x}_r(t)$. Тъй като в случая търсим най-неблагоприятното натоварване по отношение на реборда на ходово колело, се взема само максималната стойност на скоростта на плъзгане $\dot{x}_{r,MAX}$;

k — коефициент на възстановяване;

m_1 — частта от масата на строителната конструкция, която се отчита при удара;

m_2 — частта от масата на мостовия кран, която се отчита при удара;

Доказано е, че между ударния импулс и силата на удар е в сила зависимостта (4) [2]

$$S = \int_{t_x}^{t_x + \tau} F \cdot dt \quad (4)$$

където τ е продължителността на удара.

Доказано е, че при прав удар на две твърди тела съществува фаза на сближаване и фаза на раздалечаване на контактните повърхнини на двете тела през времето на продължителност на удара τ , като силата на удар е най-

голяма между двете фази, но точен алгоритъм за определяне, както на продължителността на двете отделни фази, така и на максималната стойност на силата на удар все още няма.

За целите на настоящите изследвания се взема средната приблизителна стойност на силата на удар, която с достатъчна степен на точност може да бъде изчислена по формула (5) [2].

$$S = F * \tau \quad (5)$$

Доказано е че $\tau = (10^{-3} \div 10^{-6}) \text{ sec}$ [2]

Така силата, която се реализира в реборда на ходово колело при удар, може да се изчисли по формула (6).

$$F_{P,MAX} = (1 + k) \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot \frac{\dot{x}_{r,MAX}}{\tau} \quad (6)$$

Избор на динамичен модел

Избора на динамичен модел, за определянето на големината на скоростта на плъзгане и силата на удар на реборда на ходово колело в глава релса при сеизмично въздействие е въпрос, който крие в себе си известна неопределеност. Това е така защото действителното разстояние между главата на крановата релса и ребордите на ходовите колела на крана в момента на настъпване на сеизмичното въздействие, на практика е случайна величина, която може да варира в границите от 0 до $(S - r)/2$, където r е широчината на главата на релсата, а S е междуребордното разстояние на едно ходово колело. Поради тази причина настоящите изследвания се извършват при следните опростяващи предпоставки:

- с цел изследване на най- неблагоприятния сценарий се приема, че удар на реборда на ходово колело в глава релса настъпва в този момент от време, в който имаме максимална скорост на плъзгане на ходовото колело върху релсата;

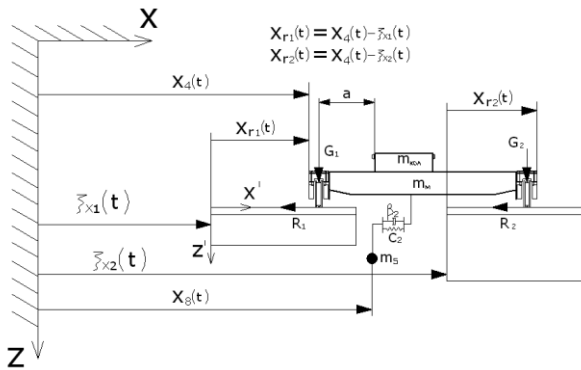
- при определянето на тази максимална скорост на плъзгане се премахват ребордите на ходовите колела и връзката между ходови колела и релса се разглежда като свободна плъзгаща връзка;

- поради малкият ъгъл на разлюляване на товароподемното въже на крана при сеизмично въздействие, то се моделира като хоризонтална еластична връзка;

- коравината на „опън- натиск“ на моста на крана се счита за достатъчно голяма, за да се пренебрегне в случая еластичната реакция на „опън- натиск“ на моста на крана при сеизмичното въздействие по посока напречно на крановия път.

- плъзгането на крановата количка върху моста на крана се пренебрегва;

На база на горните опростяващи предпоставки, по отношение на динамичното поведение на моста на крана по направление напречно на подкрановия път се получава динамичния модел представен на фиг.2



Фиг.2. Динамичен модел на мостов кран по посока напречно на подкрановия път

На фиг.2 са използвани следните означения:

$\zeta_{x1}(t)$, $\zeta_{x2}(t)$ — движения на двете подкранови греди спрямо абсолютно неподвижна координатна система XYZ;

$x_4(t)$ — движение на крана спрямо абсолютно неподвижната координатна система XYZ;

$x_8(t)$ — движение на товара спрямо абсолютно неподвижната координатна система XYZ;

$x_{r1}(t)$ — релативно движение (плъзгане) на крана спрямо лява релса- фиг.2;

$x_{r2}(t)$ — релативно движение (плъзгане) на крана спрямо дясна релса- фиг.2;

G_1 — сила на тежестта, която се предава от моста на крана към носещата конструкция на сградата откъм страната на лява релса- фиг.2; Изчислява се по формула (7)

$$G_1 = g \left(m_{gl.зп} + m_{ч.зп} + \frac{(L-a)}{L} \cdot (m_{кол} + m_5) \right) \quad (7)$$

където m_5 е масата на товара;

$m_{gl.зп}$ — маса на главна гредата;

$m_{ч.зп}$ — маса на челна гредата;

a — разстоянието от крановата количка до левия край на моста на крана;

L — отвор на крана.

R_1 — силата на триене с която си взаимодействат носещата конструкция на сградата и мостовия кран откъм страната на лявата релса- фиг.2;

G_2 — теглото, което се предава от моста на крана към носещата конструкция на сградата откъм страната на дясната релса; Изчислява се аналогично на G_1 и формула (7);

R_2 — силата на триене с която си взаимодействат носещата конструкция на сградата и мостовия кран откъм страната на дясната релса- фиг.2;

Функционалната зависимост между двете релативни премествания се изразява с (8)

$$x_{r2}(t) = x_{r1}(t) + \zeta_{x1}(t) - \zeta_{x2}(t) \quad (8)$$

Диференциалните уравнения на движение на системата (фиг.2) се извеждат от принципа на Даламбер. Така за лявата челна гредата на крана, където е фиксирана релативната координатна система X'Y'Z' (фиг.2) може да се запише уравнение (9)

$$m_{кр} \cdot \ddot{x}_{r1} = \vec{F} - m_{кр} \cdot \ddot{\zeta}_{x1} \quad (9)$$

където $m_{кр}$ е масата на мостов кран без товар;

$\ddot{x}_{r1}$ — релативното ускорение;

$\ddot{\zeta}_{x1}$ — преносното ускорение;

$\vec{F}$ — външната сила, която действа върху крана откъм разглежданата лява челна гредата. Тя се изразява със зависимостта (10).

$$\vec{F} = \vec{R}_1 + \vec{R}_2 + \vec{F}_{el} + \vec{F}_D \quad (10)$$

където $\vec{F}_D$ е дисипативната сила, породена от коефициента на линейно съпротивление на въжено- полиспаснатата система в хоризонтално направление

$$\vec{F}_D = -\beta_2(\dot{x}_4 - \dot{x}_8)$$

$\vec{F}_{el}$ — еластичната сила, породена от еластичността на въжено- полиспаснатата система в хоризонтално направление

$$\vec{F}_{el} = -c_2(x_4 - x_8)$$

Сили R_1 и R_2 се изчисляват като сили на сухо (Кулоново) триене по формули (11) [3]

$$\begin{aligned}\bar{R}_1 &= -\mu.g \left(m_{\text{зл.зр}} + m_{\text{ч.зр}} + \frac{(L-a)}{L} \cdot (m_{\text{кол}} + m_5) \right) \cdot \text{sign}|\dot{x}_{r1}| \\ \bar{R}_2 &= -\mu.g \left(m_{\text{зл.зр}} + m_{\text{ч.зр}} + \frac{a}{L} \cdot (m_{\text{кол}} + m_5) \right) \cdot \\ &\quad \cdot \text{sign}|\dot{x}_{r1}(t) + \dot{\zeta}_{x1}(t) - \dot{\zeta}_{x2}(t)|\end{aligned}\quad (11)$$

Където μ е коефициент на триене между ходово колело и релса, който за кранове работещи на закрито може да се приеме $\mu = 0,2$ [4].

Така замествайки уравнения (11) и изразите за дисипативната и еластичната сила в уравнение (10), и след това замествайки получения резултат в уравнение (9), се получава диференциално уравнение на релативно движение на лявата челна гредна на мостов кран (12)

$$\begin{aligned}m_{\text{кр}} \cdot \ddot{x}_{r1} &= -c_2 (x_{r1} + \zeta_{x1} - x_8) - \\ &- \beta_2 (\dot{x}_{r1} + \dot{\zeta}_{x1} - \dot{x}_8) - m_{\text{кр}} \cdot \ddot{\zeta}_{x1} - \\ &- \mu.g \left(m_{\text{зл.зр}} + m_{\text{ч.зр}} + \frac{(L-a)}{L} \cdot (m_{\text{кол}} + m_5) \right) \cdot \text{sign}|\dot{x}_{r1}| - \\ &- \mu.g \left(m_{\text{зл.зр}} + m_{\text{ч.зр}} + \frac{a}{L} \cdot (m_{\text{кол}} + m_5) \right) \cdot \\ &\cdot \text{sign}|\dot{x}_{r1}(t) + \dot{\zeta}_{x1}(t) - \dot{\zeta}_{x2}(t)|\end{aligned}\quad (12)$$

Второто диференциално уравнение за движение на товара - m_5 , извеждаме пак на база на принципа на Даламбер (13)

$$\begin{aligned}(\dot{x}_{r1} + \dot{\zeta}_{x1}) \cdot \beta_2 + (x_{r1} + \zeta_{x1}) \cdot c_2 - \\ - \ddot{x}_8 \cdot m_5 - \dot{x}_8 \cdot \beta_2 - x_8 \cdot c_2 = 0\end{aligned}\quad (13)$$

Тъй като най-неблагоприятния случай на натоварване по отношение на ребордите на ходовите колела при сеизмично въздействие напречно на подкрановия път, е установен като случай на кран без товар [5], то второто диференциално уравнение на системата (13) отпада и системата се разглежда като система с една степен на свобода с диференциално уравнение (14)

$$\begin{aligned}m_{\text{кр}} \ddot{x}_{r1} &= -m_{\text{кр}} \ddot{\zeta}_{x1} - A \cdot \text{sign}|\dot{x}_{r1}| - \\ &- B \cdot \text{sign}|\dot{x}_{r1}(t) + \dot{\zeta}_{x1}(t) - \dot{\zeta}_{x2}(t)|\end{aligned}\quad (14)$$

Където е направено следното полагане:

$$\begin{aligned}\mu.g \left(m_{\text{зл.зр}} + m_{\text{ч.зр}} + \frac{(L-a)}{L} \cdot (m_{\text{кол}} + m_5) \right) &= A \\ \mu.g \left(m_{\text{зл.зр}} + m_{\text{ч.зр}} + \frac{a}{L} \cdot (m_{\text{кол}} + m_5) \right) &= B\end{aligned}$$

Диференциалното уравнение за определяне на скоростта на плъзгане (14), се решава чрез специално разработен алгоритъм в средата на софтуерния продукт MATLAB [6].

Числен пример

Зададени изходни данни:

Маса на моста на крана: $m_M = 53,6$ [t];

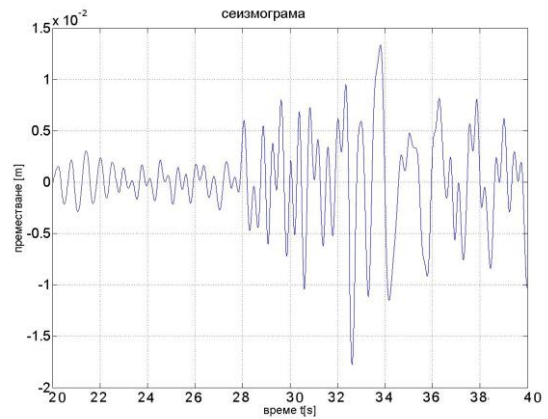
Маса на крановата количка: $m_{\text{кол}} = 9,5$ [t];

Отвор на крана: $L = 27$ [m];

Товароподемност: $m_5 = 20$ [t];

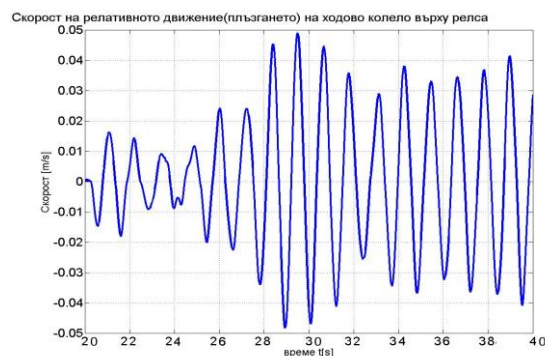
Коефициент на триене: $\mu = 0,2$;

Сеизмограмата, която е зададена като входно сеизмично въздействие е показана на фиг.3:



Фиг.3. Входна сеизмограма

След заместване на зададените стойности в разработен алгоритъм в средата на софтуерния продукт MATLAB, са получени следните резултати по отношение на плъзгането на ходовите колела на мостов кран върху релсата- фиг.4



Фиг.4. Скорост на плъзгане на ходово колело върху релса в напречна посока

От фиг.4. се вижда, че максималната стойност на релативната скорост (скоростта на плъзгането) на ходово колело върху релса е 0,0495 m/s. Най-неблагоприятната сила на удар между ходово колело и релса, която може да се получи, се изчислява по формула (6), като се приемат следните стойности на отделните параметри от формула (6) за целите на конкретните изчисления:

-приема се най-неблагоприятната стойност по отношение на продължителността на удара: $\tau = 10^{-6} [\text{sec}]$;

-при удар на две стоманени тела отчитаме коефициент на възтановяване: $k = \frac{5}{9} [2]$;

-масата m_2 се явява равна на масата на мостовия кран без товар: $m_2 = m_{KP} = 6,31[t]$

-масата m_1 в случая се приема за равна на:
 $m_1 = 1,0[t]$

Така замествайки конкретните стойности във формула (6) за силата на удар в ребордите се получава стойност $F_P = 76900[kN]$

Съгласно уравнение (1), необходимото напречно сечение на реборда на ходовото колело (фиг.1) на мостовия кран, при оразмеряването на сеизмични въздействия трябва да се извърши съгласно (15)

$$S_H \geq \frac{F_P}{[\tau]}; \quad S_H \geq \frac{76900 * 10^3}{[\tau]} [m^2] \quad (15)$$

Препоръчана за публикуване от
Редакционен съвет

Изводи

Разработена е методика за определяне на големината на силата на удар на реборд на ходово колело на мостов кран в глава релса при сеизмично въздействие, на база на която се извършва и оразмеряването на реборда на ходовото колело в условия на сеизмично въздействие. Силата на удар се определя от гледна точка на теорията на удара на база на скоростта на плъзгане на ходовото колело върху релсата. Показан е и конкретен числен пример, който илюстрира и практическото приложение на тази методика.

Литература

1. Коларов И., Проданов М., Караиванов П., Проектиране на подемно-транспортни машини, издателство "Техника" София 1987г.
2. Писарев А., Парасков Ц., Бъчваров С., Курс по теоретична механика II част- динамика, издателство "ТЕХНИКА", София 1988г.
3. de Silva Clarence W., "VIBRATION: fundamentals and practice", ISBN 0-8493- 1808-4, pp. 957. CRC Press Boca-Raton-London-New York-Washington D.C., USA 2000
4. Коларов И. Метални конструкции на подемно-транспортни и строителни машини. Техника, София, 1987г.
5. Радлов К., „Сеизмична квалификация на носещата конструкция на мостов кран“, Автореферат на дисертация за получаване на к.т.н., ТУ – София 2010г.
6. Тончев Й., MATLAB- Преобразувания, Изчисления, Визуализация- Част 2, Издателство "Техника", София 2006г.
7. Кърцелин Е.Р., Комплексен математичен модел на руднична подемна уредба, Год. МГУ "Св.Ив.Рилски", т. 527, св.III, 2009, стр. 73–82

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ГЛАВНАТА ГРЕДА НА МОСТОВ КРАН ПРИ СЕИЗМИЧНО ВЪЗДЕЙСТВИЕ ЧРЕЗ УМАЛЕН ФИЗИЧЕН МОДЕЛ

Калин Радлов¹

¹ Университет по архитектура, строителство и геодезия, 1046 София, E-mail: kradlov@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Настоящата разработка е посветена на експерименталното изследване на динамичното поведение и напрегнатото състояние главната греда на двугредов мостов кран в условия на сеизмично въздействие, посредством умален физичен модел и виброплатформа за възбуждане на сеизмични трептения. Извършени са резонансен тест, хармоничен анализ и динамичен тест с акселерограма за три различни местоположения на количката в отвора на моста на крана: в средата, на 1/3 от края на моста и на 1/6 от края на моста. Получените накрая изводи от анализа на експериментални резултати могат да бъдат полезни в проектантската практика при изготвянето на сеизмични квалификации на носещи конструкции на мостови кранове.

Ключови думи: мостов кран, експериментален стенд, сеизмично въздействие, собствена честота

BRIDGE CRANE MAIN BEAM EXPERIMENTAL RESEARCH IN CASE OF EARTHQUAKE BY USING A MINIATURE MODEL

Kalin Radlov¹

¹ University of architecture, civil engineering and geodesy, 1046 Sofia, E-mail: kradlov@abv.bg

ABSTRACT. The present development is devoted to dynamic behavior and stressed state experimental research of bridge crane main beam in case of earthquake, by using a bridge crane miniature model and a shaking table for seismic vibrations excitation. There are performed a resonance test, harmonic analysis and dynamic test by using an accelerogram for three different crane trolley locations in the bridge crane span - at the middle, 1/3 distance from bridge end and 1/6 distance from bridge end. The obtained conclusions following the result analysis can be very useful in bridge crane designing practice by preparing a bridge crane's seismic qualifications.

Key words: bridge crane, test stand, seismic action, natural frequency

Въведение

Напоследък все по интензивно се развиват ЕИМ, като едновременно с това при анализа на динамичното поведение на механичните системи все повече навлизат и методите основаващи се на компютърното моделиране и симулация. По редица причини масово се пренебрегват физическите експерименти по отношение на изследването на главните греди от носещите конструкции на мостови кранове. Ясно е обаче, че при множеството проведени до този момент компютърни експерименти е невъзможно да бъдат отчетени реалните механични характеристики на системата, както и всички влияещи фактори, засягащи сложното динамично реагиране на главната греда на мостов кран в условия на сеизмично въздействие.

Тъй като по отношение на изследванията върху носещи конструкции на мостови кранове при сеизмични въздействия, един експеримент върху реална конструкция на мостов кран би изискал огромни капиталовложения, то напоследък все по-масово се използват експерименталните изследвания върху подобни модели. Това е много полезен метод, тогава когато се изследват отговорни конструкции със сложна форма. Получените чрез директни измервания върху подобния модел резултати след това се пренасят към реалната конструкция, чрез умножаване с подходящи мащабни коефициенти [1].

Целта на настоящата разработка да бъдат анализирани и правилно интерпретирани, резултатите от експериментално изследване на динамичното поведение и напрегнатото състояние на главна греда на мостов кран в условия на сеизмично въздействие, които са извършени по разработена в [2] методика за експериментално изследване посредством умален физичен модел и мащабни коефициенти.

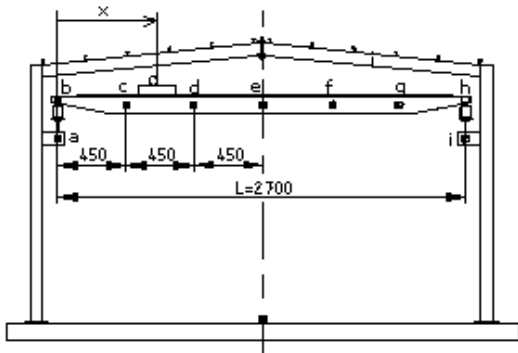
Постановка на експеримента

Тъй като сеизмичното въздействие се предава от земната повърхност към носещата конструкция на мостов кран през носещата конструкция на сградата, то при настоящото експериментално изследване се счита за удачно да се изследва цялостната система "мостов кран сграда" Използвания за настоящите изследвания експериментален стенд е показан на фиг. 1.



Фиг.1. Експериментален стенд- умален физичен модел на система "мостов кран-сграда"

За възбуждането на сеизмични трептения в хоризонтална посока е използвана еднокомпонентна виброплатформа (Shaking Table), изградена на базата на сервохидравлична система Instron и задвижвана от два гидроцилиндъра.



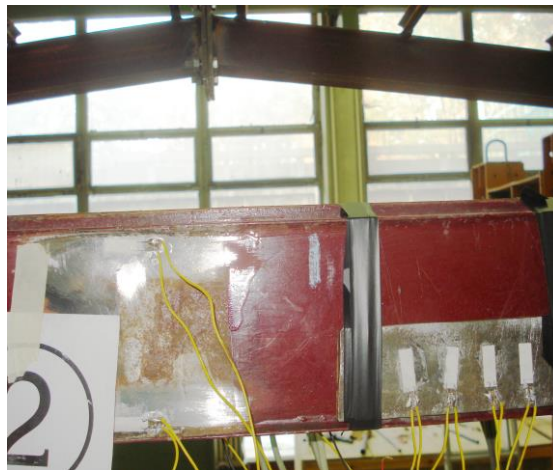
Фиг.2. Разположение на акселерометрите за измерване на динамичното поведение на главна греда в хоризонтално направление- схема и общ вид

За измерване на динамичното поведение на главна греда се използват акселерометри от индуктивен тип, марка Hotinger модел B12/200, които са масово използвани за измерване на ускоренията при микротрептенията [3]. Акселерометрите се разполагат в седем точки, равномерно разпределени по дължината на главната греда по начина показан на фиг.2.

Напреженията в средното сечение на главна греда на мостов кран определят по метода на електросъпро-

тивителните тензопреобразуватели. Използват се жични тензопреобразуватели тип X-1 със съпротивление $R=121,2[\Omega] \pm 0,5\%$ и коефициент на тензочувствителност $K=2,09 \pm 0,5\%$.

Разположението на тензодатчиците за измерване на напрегнатото състояние в средата на главна греда е показано на фиг.3

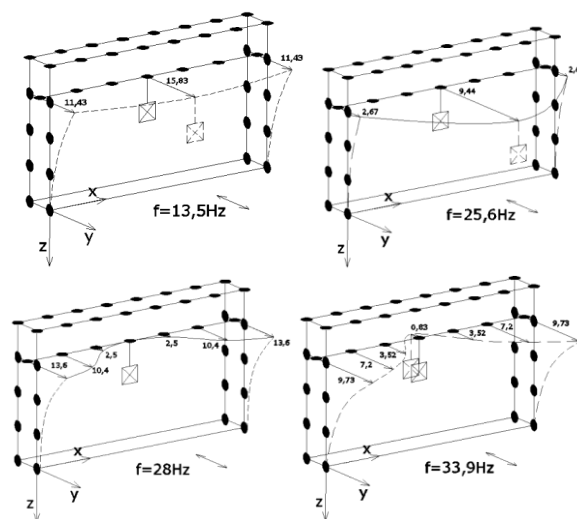


Фиг.3. Разположение на тензодатчиците за измерване на напрегнатото състояние в средното сечение на главна греда

Експерименталното изследване се извършва за три различни разположения на крановата количка спрямо левия край на моста на крана (разстоянието от крановата количка до левия край на моста на крана е означено с "x" на фиг.2) : количка в средата на моста; количка на 1/3 от края на моста и количка на 1/6 от края на моста.

Резонансен тест

От проведения резонансен тест при разположение на крановата количка по средата на моста са получени следните по- важни собствени честоти и форми на трептене, показани на фиг.4



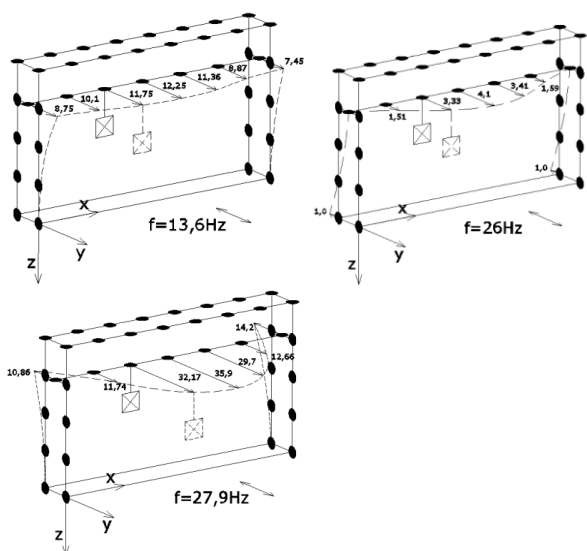
Фиг.4. Собствени честоти и форми при разположение на количката в средата на моста

От собствените форми представени на фиг.4 може да се направи извода, че честотата 13,5Hz представлява

честотата на първа собствена форма на носещата конструкция на сградата по ос 'y'. Вижда се, че 25,6Hz представлява честотата на първа собствена форма на носещата конструкция на моста на крана по ос 'y'. Честоти 28Hz и 33,9Hz представляват честоти на трептене на носеща конструкция на системата "мостов кран - сграда" около точката на окачване на товара.

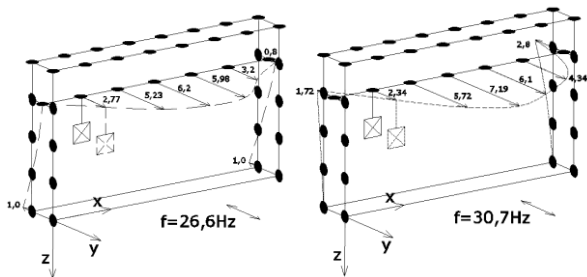
От проведения резонансен тест при разположение на крановата количка на разстояние 1/3 от края на моста са получени следните по-важни собствени честоти и форми на трептене, показани на фиг.5.

От собствените форми представени на фиг.5 може да се направи извода, че честотата 13,6Hz представлява честотата на първа собствена форма на носещата конструкция на сградата по ос 'y'. Честотата 26Hz представлява честотата на първа собствена форма на носещата конструкция на мостовия кран. Честотата 27,9Hz представлява собствена честота на системата "мостов кран-сграда", при която вече настъпва плъзгане на ходови колела върху релса откъм челната греда, разположена от отсрещната страна на страната на окачване на товара.



Фиг.5. Собствени честоти и форми при разположение на количката на 1/3 от края на моста

От проведения резонансен тест при разположение на крановата количка на разстояние 1/6 от края на моста са получени следните по-важни собствени честоти и форми на трептене, показани на фиг.6



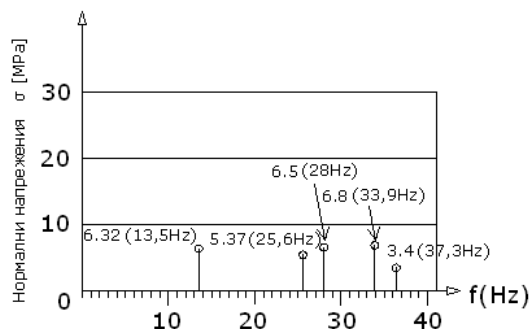
Фиг.6. Собствени честоти и форми при разположение на количката на 1/6 от края на моста

От собствените форми представени на фиг.6 може да се направи извода, че честотата 12Hz представлява честота на усукване на носещата конструкция на системата "мостов кран- сграда", а честотата 13,6Hz представлява честотата на първа собствена форма на носещата конструкция на сградата по ос 'y'. Също така се вижда, че честотата 26,6Hz представлява честотата на първа собствена форма на носещата конструкция на мостовия кран, а честотата 33,8Hz представлява честота на усукващи трептения на цялата система "мостов кран-сграда" около точката на окачване на товара. Честотата 30,7Hz пък, подобно на горният случай, че представлява собствена честота на системата "мостов кран-сграда", при която настъпва плъзгане на ходовите колела върху релсата откъм челната греда, разположена от отсрещната страна на страната на окачване на товара.

Измерване на напрежения при хармонично въздействие

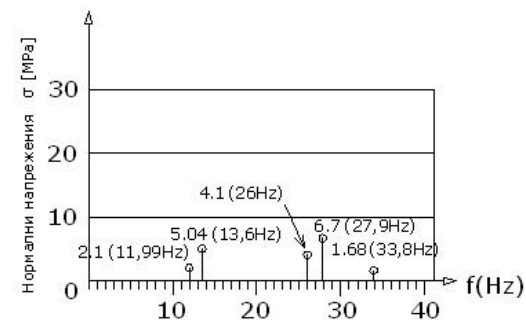
Към виброплатформата се подава хармонично въздействие с амплитуда $A=0,05 \cdot g[m/s^2]$. Последователно се подават установените при резонансния тест собствени честоти.

От проведения хармоничен анализ при разположение на крановата количка по средата на моста са получени следните резултати, показани на фиг.7



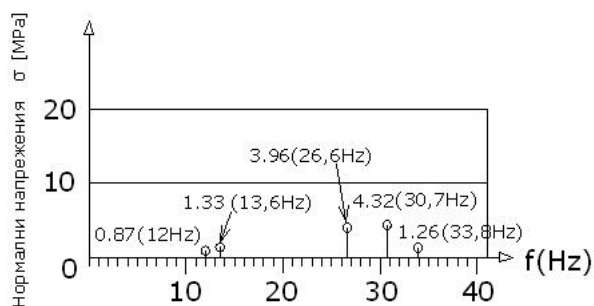
Фиг.7 Честотна характеристика на напреженията в средата на главна греда на мостов кран при количка в средата на моста

От проведения хармоничен анализ при разположение на крановата количка на разстояние 1/3 от края на моста са получени следните резултати, показани на фиг.8



Фиг.8.Честотна характеристика на напреженията в средата на главна греда на мостов кран при количка на 1/3 от края на моста

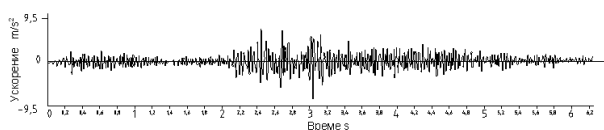
От проведения хармоничен анализ при разположение на крановата количка на разстояние 1/3 от края на моста са получени следните резултати, показани на фиг.9



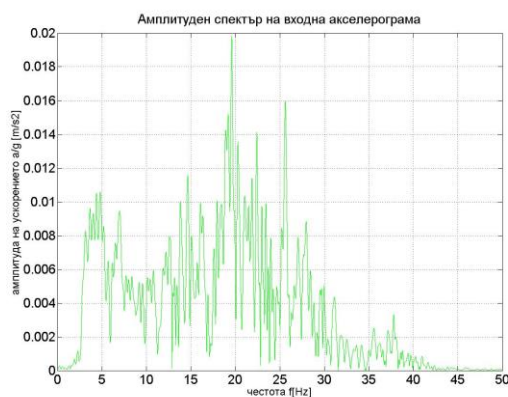
Фиг.9.Честотна характеристика на напреженията в средата на главна греда на мостов кран при количка на 1/6 от края на моста

Измерване на напрежения и ускорения при входно въздействие акселерограма

За входна смущаваща акселерограма, за настоящите изследвания е избрана реална акселерограма регистрирана вследствие на Вранчанското земетресение от 31 Август 1986г с магнитуд $M=7.0$ [5]. След мащабирането на тази акселерограма с мащабните коефициенти установени в [2], тя придобива вида показан на фиг.10. Амплитудния ѝ спектър е показан на фиг.11. За да се построи амплитудния спектър е използван алгоритъм с Бързо Преобразуване на Фурие [4].

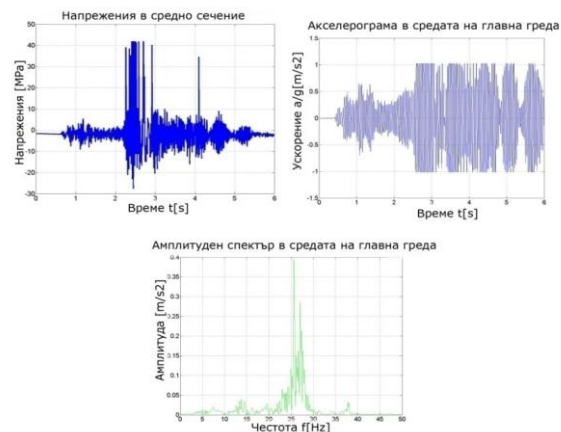


Фиг.10.Мащабирана акселерограма



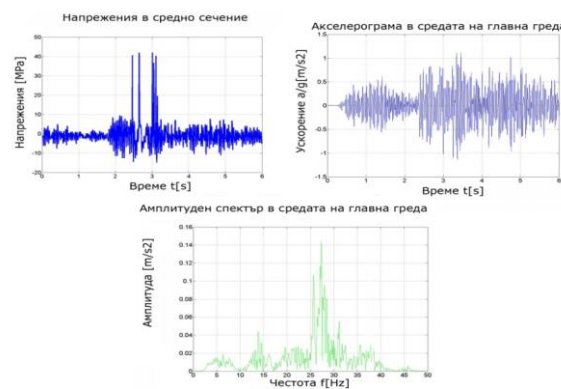
Фиг.11.Амплитуден спектър на мащабирана акселерограма

След подаване на мащабираната акселерограма към виброплатформата, и при разположение на крановата количка по средата на моста на крана, са получени резултатите показани на фиг.12



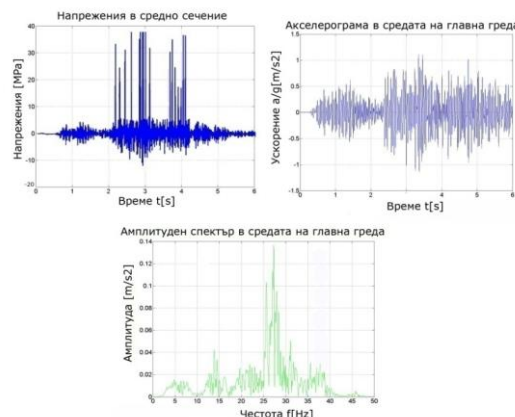
Фиг.12.Напрежения и ускорения в средно сечение и разположение на количката в средата

След подаване на мащабираната акселерограма към виброплатформата, и при разположение на крановата количка на разстояние 1/3 от края на моста, са получени резултатите показани на фиг.13.



Фиг.13.Напрежения и ускорения в средно сечение и разположение на количката на 1/3 от края на моста

След подаване на мащабираната акселерограма към виброплатформата, и при разположение на крановата количка на разстояние 1/6 от края на моста, са получени резултатите показани на фиг.14.



Фиг.14.Напрежения и ускорения в средно сечение и разположение на количката на 1/6 от края на моста

Изводи

След анализ на получените резултати, могат да се направят следните заключения:

-усилващия ефект, който носещата конструкция на сградата оказва върху амплитудите на сеизмичните трептения по хоризонтално направление, които се предават от земната повърхност към средното сечение на главната греда на мостовия кран е от порядъка на $\beta = 1,5$;

-най-високи сеизмични напрежения в средното сечение на главна греда при сеизмично въздействие по хоризонтално направление, се получават в случая при разположение на количката по средата на моста и са от порядъка на $\sigma = 45 \text{ MPa}$;

- при разположение на количката по средата на моста, най-голямо влияние върху напрегнатото състояние вследствие на хоризонтално сеизмично въздействие, оказват две собствени честоти на системата- първа собствена честота на трептенията на моста на крана в хоризонтално направление и честотата на трептене на системата "мостов кран- сграда" около точката на качване на товара;

- при разположение на количката встрани от средата на моста, най-голямо влияние върху напрегнатото състояние вследствие на хоризонтално сеизмично въздействие, оказват две собствени честоти на систе-

мата- първа собствена честота на трептенията на моста на крана в хоризонтално направление и честотата която настъпва плъзгане на ходовите колела върху релсата откъм челната греда, разположена от отсрещната страна на страната на товара.

Литература

- Петков Г., М.Проданов, П.Караиванов, П. Ексаров, Д. Камбуров. Експериментално изследване на подемно-транспортни машини. изд.Техника 1980г.
- Радлов. К., Моделни изследвания на система „носеща конструкция на мостов кран- носеща конструкция на сграда“ при сеизмични натоварвания, „Механика на машините“, Изд. на ТУ–Варна, № 85, година XVIII , кн. 1, 2010г.
- Финк К.Х., Робарх., Измерение напрежений и деформации,М., 1966г.
- Доневска С., Б.Доневски Бързо преобразуване на Фурие, изд. "Технически Университет"- София, 2000г.
- www.ngdc.noaa.gov/hazard/data/cdrom/ag.strong_motion_vol3
- Дворников В.И., Е.Р.Кърцелин, Об учете массивности проводниковых систем, IX нац. конф. с межд. участие по открыт и подводен добив на полезные ископаемые, 10-14 IX 2007 г., гр. Варна, България, Св. доклады, стр. 195-200.

*Препоръчана за публикуване от
Редакционен съвет*

ИЗГРАЖДАНЕ НА ВОДОПРИЕМНА ФИЛТЪРНА СИСТЕМА В МОНИТОРИНГОВИЯ СОНДАЖ

Михаил Петров¹

¹Омикрон АД, 1527, София, ул. „Искър“ № 63, E-mail: mihail@ybobg.com

РЕЗЮМЕ: Въз основа на конкретните хидротехнически условия в находище „Асарел“ и според изискванията на мониторинговите изследвания, са представени методични насоки по въпроси, отнасящи се до проектирането и изграждането на водоприемна сондажна филтърна система. Подробно са разгледани конструктивните особености на тръбния филтър, които са съобразени с хидротехническите условия на подземните филтриращи се води и подлежат на мониторингови изследвания

BUILDING UP A WATER – ACCEPTING FILTER SYSTEM IN A MONITORING DRILLING

Mihail Petrov¹

¹Omikron JSC, 1527 Sofia, Iskar str. № 63a, E-mail: mihail@ybobg.com

ABSTRACT: Based on the specific hydro - technical conditions in the field "Assarel" and according to the requirements and monitoring studies are presented methodical guidance on issues related to the design and construction of watertake drilling filtration system. The constructive special feature of the tube filter are treshed out, which comply with conditions of the underground filtrating water and are subject to the monitoring studies.

Въведение: Изграждането на водоприемна система на мониторинговите сондажи е разгледана за условията на рудник „Асарел“. Прокарването на мониторинговите сондажи е представено в Петров (2010) на тази основа се третират конструктивните особености на водоприемната филтърна система.

Хидротехническа характеристика на водоприемната филтърна система за условията на рудник „Асарел“. Водоприемната част е най-отговорния конструктивен елемент от мониторинговия сондаж. Проектирането на водоприемната част на мониторинговите сондажи от рудник „Асарел“ се извършва при следните условия:

- малък дебит на подземните води в сондажите;
- малка скорост на филтриращите се води в естественото им състояние в напукания скален масив;
- различна химическа характеристика на филтрационните води, от нормално състояние с неутрален водороден фактор (pH 7) и такива с киселинен характер (pH<7) и с различно съдържание на метали и сулфати;
- дълбочината на филтрационните води във водоносния пласт (напукания скален масив) достига до 15-16 m.
- интервалът на филтрационните води в скалния масив е от дълбочина

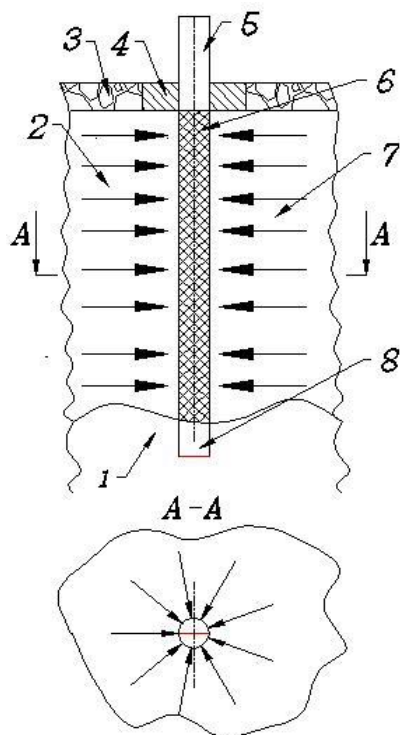
При такива хидрогеоложки условия за целите за мониторинговите изследвания, най-подходяща водоприемна система е тази от типа «филтър със засипка». Тази система се състои от две части: тръбна колона с филтър, разположена по цялата дълбочина на сондажа и гравийна засипка, запълваща пространството между тръбната колона и стената на сондажа. Водоприемната

част на сондажа обхваща цялата дебелина на водоносния пласт.

Хидродинамична характеристика на мониторинговия сондаж. За проектирането на водоприемната система, както и за дефиниране на някои основни параметри на филтрационния поток на подземните води се дава кратка хидродинамична характеристика на мониторинговия сондаж.

В хидродинамично отношение, мониторинговите сондажи на територията на рудник „Асарел“ се характеризират с това, че водоприемните им части обхващат цялата дебелина на водоносния слой (напуканите диорити и андезити). По този критерий мониторинговите сондажи, според хидродинамичната трактовка се определят като «съвършени», според Гълъбов (1985), за разлика от несъвършените, при които това условие не е спазено.

В съвършените сондажи филтрационния поток на водите към сондажа има подчертано радиален характер, както схематично е показано на фиг. 1. С отдалечаването от сондажа характерът на филтрационния поток постепенно се изменя и се определя от конфигурацията на водоносния пласт (разширение или стеснение) и неговото разположение, спрямо хоризонталната равнина. Така описаната ситуация се отнася за водоносни пясъчни пластове, които са хоризонтално разположени и обикновено са от седиментен произход. В тези пластове водните потоци към мониторинговия сондаж имат еднаква скорост на вливане във филтърта.



Фиг. 1 Схема на потока на филтрационни подземни води в свършен мониторингов сондаж

1 – здрави, непроницаеми скали; 2 – напукани (водоносни) скали; 3 – несвързани скални късове; 4 – стоманобетонен фундамент; 5 – надфилтърна тръбна част; 6 – тръбен филтър; 7 – филтращионен воден поток; 8 – утайник на тръбната колона

Тук са дефинирани някои основни показатели характеризиращи хидродинамиката на филтриращите води със сондаж за т.нар. класически случай, отнасящ се за хоризонтален пясъчно-чакълен, водоносен пласт.

Основните показатели на хидродинамиката на подземните води са: общ напор, напорен градиент и коефициент на филтрация.

Общият напор H_0 в дадена точка от филтращионния поток, съгласно известното уравнение на Бернули е

$$H_0 = \frac{\rho}{\tau} + Z + \frac{v^2}{2g}, m \quad /1/$$

където ρ е хидростатичното налягане в дадена точка, N/m^2 ;

τ - силата на теглото на течността, N/m^3 ;

Z - разстоянието от точката до избраната равнина на сравнение (обикновено земната повърхност), m ;

v - скоростта на движение на водния поток, m/s ;

g - земното ускорение m/s^2 .

Общият напор се състои от два компонента: хидростатичен напор H т.е.:

$$H_0 = \frac{\rho}{\tau} + Z, m \quad /2/$$

и скоростен напор H_1 т.е.

$$H_1 = \frac{v^2}{2g}, m \quad /3/$$

Скоростите на филтращионните води в района на рудник „Асарел“ са много малки, респ. стойността на скоростния напор H_1 е пренебрежимо малка, спрямо хидростатичния H . По тази причина общият напор практически е равен на хидростатичния напор.

Хидростатичният напор характеризира потенциалната енергия от водния поток и се измерва в m .

Отношението $\frac{\rho}{\tau}$ от формула /1/ се нарича

пиезометрична височина и по тази причина вертикалните водоснабдителни сондажи в практиката са известни с не много коректното название пиезометри.

Напорен градиент. При движението си филтращионните води изпитват различни съпротивления, от които най-голямо е триенето им със стените на скалните пукнатини и пори. Тези съпротивления се преодоляват с известна част от енергията на водите, респ. от напора. Изменението на напора за единица дължина от филтращионния път на водния поток се нарича **напорен градиент** и се определя от формулата:

$$I = -grad.H = -\frac{dh}{dl} \quad /4/$$

Знакът минус отразява намаляването на напора H с увеличаване на разстоянието по посока на движение на водния поток, в случай към сондаж.

В хидродинамиката на водоснабдителните сондажи се използва понятието *понижение на напора S* , което означава разликата между напора H_t в дадена точка на водоносния пласт в естествени условия преди пускането на водочерпене и напора H в същата точка в произволен момент след започналото водочерпене т.е.

$$S = H_t - H, m \quad /5/$$

Понижението на напора отразява пряко ефекта от действието на водочерпенето, чрез водоприемната част на сондажа и по тази причина се счита за основен елемент от хидродинамичните изчисления на тези съоръжения.

Коефициент на филтрация K е известен от закона на Дарси т.е:

$$V = K.I = -K.grad.H \quad /6/$$

има измерение на скорост и характеризира водното количество, протичащо през единица напречно сечение при напорен градиент единица. Най-често употребяваните единици за напорен градиент са: m/d (метър за денонощие), m/s и cm/s .

Законът на Дарси има линеен характер и отразява ламинарното движение на филтращионните води, при който режим се осъществява този процес. Когато скоростта на филтрация достигне критични стойности, ламинарният характер на движение преминава в турбулентен, но това явление в природата се среща много рядко.

Коефициентът на филтрация K характеризира водопроницаемостта на скалите и се определя чрез опитни водочерпения на сондажите, което изисква няколкократно продължителни изпитвания. За ориентировъчна оценка на филтрацията на водите в различните видове скали може

да се използват експерименталните данни от хидрогеоложките проучвания, напр. Велев и др. (1976). Необходимо е да се отбележи, че в хидрогеолошко отношение филтриращите се подземни води в района на рудник „Асарел“ се различават от гореописания идеален класически случай. Така напр. водоносния паст (напукани диорит и андезити) е от вулканични скали, които обикновено са наклонени спрямо хоризонталната равнина и водните потоци към мониторинговия сондаж имат различна скорост, зависеща от вектора на основния воден поток.

Важна особеност за подземните води в напукания скален масив, какъвто е случая в рудник „Асарел“ е, че движението на потоците се осъществява предимно по широките скални пукнатини. По този начин филтрационното течение е разпокъсано и се превръща в разклонена мрежа от водни артерии разположени в напукания скален масив. При тази ситуация за движението на подземните води в напукан скален масив не може да се приложи закона на Дарси. В случая движението на подземните води е доста сложно явление и може да се опише, чрез диференциално уравнение, зависещо от множество фактори

Тръбна колона с филтър

Тръбната колона с филтъра е основната и най-важна част от водоприемната система на мониторинговия сондаж. От правилното ѝ проектиране и изграждане зависят ефективността и дълготрайността на мониторинговия пункт.

Тръбната колона е съставена от неръждаеми, стоманени, етернитови или пластмасови (поливинилхлоридни) тръби, които се съединяват с разглобяеми или неразглобяеми връзки.

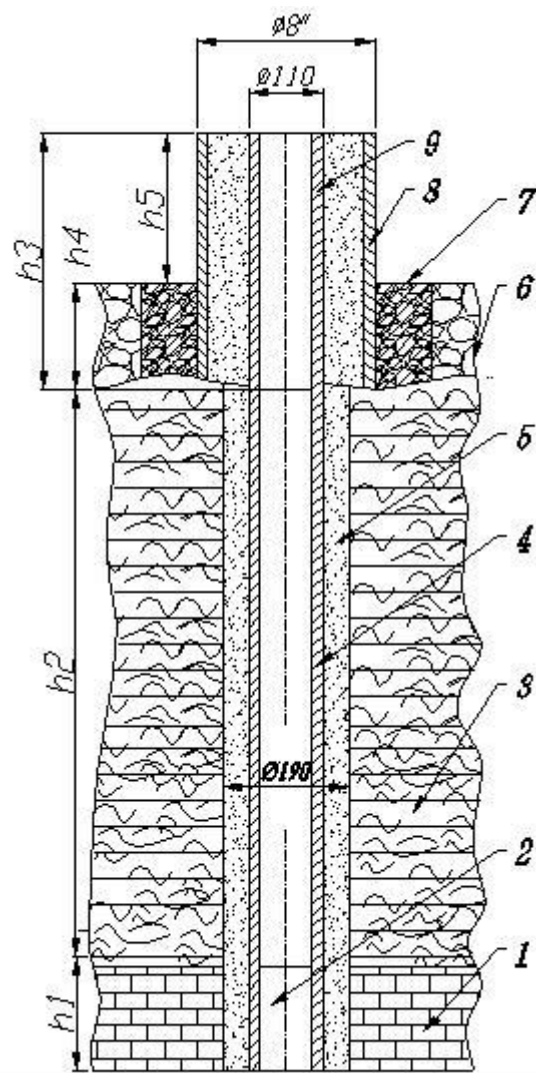
Колоната се състои от входна част 9 (фиг.2), филтър 4 и утайник 2.

Основното предназначение на тръбната колона е вземане на водни проби, чрез филтъра, но има и второстепенна роля за почистването на сондажа чрез потопяема помпа или ерлифт.

Главният фактор за проектиране на тръбната колона е избора на вида на тръбите.

Тръбите от неръждаема стомана, каквито са и обсадните са с най-добри механични и експлоатационни показатели, но са най-скъпи и по тази причина се използват за сондажи с дълбочина над 50 m.

Етернитовите тръби имат добри механични показатели, но са с най-голяма дебелина (от 9 до 34 mm за диаметри от 118 - 504 mm), по-евтини са от стоманените, но са по-скъпи от пластмасовите тръби. Свързването им е с муфи, което увеличава външния диаметър в мястото на снаждане и в тези места е невъзможно пробиването на отвори за филтъра, което е съществен недостатък.



Фиг. 2 Схема на мониторингов сондаж от района на рудник „Асарел“
1– здрави непроницаеми диорити и андезити; 2– утайник от тръбна колона; 3 - напукани (водоносни) скали; 4 – тръбен филтър; 5 – пясъчно-гравийна засипка; 6 – несвързани скални късове; 7 – стоманенобетонен фундамент; 8 – стоманена тръба от стоманобетонния фундамент; 9 – надфилтърна тръбна част.

Пластмасовите тръби имат задоволителни механични качества и могат да се използват за мониторингови сондажи с дълбочина 30-40 m. В сравнение със стоманените и етернитовите тръби пластмасовите имат следните предимства:

- устойчиви са против корозия, както в кисела така и в основна водна среда;
- най-технологични са за пробиване на отвори във филтъра. Могат да се пробиват лесно шлицови (правоъгълни) отвори с минимална ширина от 0.5 mm;
- тръбите с диаметър до 125 mm се снаждат една с друга без муфа по метода „нагряване и варване една в друга“. В мястото на снаждането на тръбите от филтърната част от колоната е възможно пробиването на отвори за водата, което е трудно осъществимо при другите водове тръби;
- най-леки са (пет пъти по-леки от стоманените тръби при еднакъв диаметър), което качество ги определя като много удобни за обработка, транспортиране и монтиране в сондажа;
- експлоатационния им срок е най-голям в условията на агресивна водна среда;

- най-евтини са и тръбите с диаметър 125 mm масово се произвеждат у нас.

Според изискванията на мониторинговите сондажи за условията на рудник „Асарел” най-рационално и евтино е тръбната колона да е съставена от пластмасови тръби с диаметър 110 mm.

Тръбен филтър. Филтърът е основен елемент от тръбната колона, който е с дължина съответстваща на дебелината на напуканите водоносни скали на сондажа, по който се филтрират подземните води. По повърхнината на филтъра са пробити отвори, през които се вливат филтрационните води в тръбната колона.

За мониторинговите сондажи за условията на рудник „Асарел”, филтърът трябва да отговаря на следните специфични изисквания:

- сумарната площ на отворите на филтъра да бъде оптимална, която осигурява скоростта на вливане на филтрационните води във филтъра да става при възможно най-близки стойности до естествената им скорост в скалния масив. При спазването на това условие вливането на водата във филтъра става с най-малко съпротивление;
- да има достатъчна механична якост и дълъг експлоатационен срок;
- да не изменя състава на филтрираната вода от материали на филтъра (ръжда у др.) вследствие на разрушителни процеси;
- да не създава условия за образуване на колматация (натрупване на глинести и фино зърнести частици) на филтъра.

Филтрите се използват основно за водоснабдителните сондажи и въпреки голямото им количество до сега у нас няма специализирано предприятие за промишленото им производство.

По тази причина проектирането и производството на филтри за мониторинговите сондажи се извършва индивидуално за всеки конкретен случай.

Проектирането на тръбния филтър за мониторинговите сондажи се свежда до определяне на основните показатели:

- форма и размери на отворите;
- разположение на отворите по околната повърхнина на тръбата;
- съотношение на сумарната площ на отворите към общата площ на тръбния филтър.

Тъй като основните конструктивни показатели на филтъра зависят от конкретните хидротенически условия, в които е прокаран мониторинговия сондаж, се разглеждат само някои методични въпроси, които могат да се използват при решаването на даден конкретен случай.

Форма и размери на отворите на филтъра. Тези показатели зависят от няколко фактора и трябва да отговарят на специфични изисквания. Основното изискване е формата и размерите на отворите на филтъра да са определени съобразно гранулометричния състав на гравийната засипка. Гранулометричният състав на

засипката се подбира в съответствие с формата и размерите на пясъците и другите механични частици от водоносния пласт (напукани диорити и андезити). При тези условия за мониторинговите сондажи в рудници „Асарел” е подходящо отворите на филтъра да са с правоъгълна (шлицова) форма, с размери 3-4 x 40-50 mm или с кръгова форма с диаметър 4-5 mm. В случая определянето на отвори с пълна площ се лимитира от малкия дебит на филтрационните води, вливащи се в сондажа.

Формата и размерите на отворите, както и тяхното разположение по повърхността на филтъра зависят и от изискването за осъществяване на скорост на вливане на филтрационните потоци близка до естествената им във водоносния скален масив. Това условие трудно се осигурява, тъй като водоносния слой е наклонен и вливащите се водни потоци във филтъра са с различна скорост. Така напр. в отворите на филтъра, които са разположени напречно на основния воден поток, скоростите на водите са най-големи. Очевидно е, че условието за осигуряване на оптимална скорост на вливане е трудно изпълнимо и по тази причина решението е компромисно.

Показателят съотношение на сумарната площ на отворите към общата площ на филтъра за мониторинговите сондажи не е актуален, тъй като дебитите и скоростта на филтрационните води са малки и не се налага изпълнението на изискването за максимална площ на отворите, което е задължително условие за водоснабдителните сондажи.

Размерите, формата и разположението на отворите на филтъра трябва да се определят така че през тях да преминават от 50 до 70 % от дребните фракции на гравийната засипка. След като тези дребни фракции от засипката се изнесат от сондажа при почистването му чрез водочерпене, над отворите на филтъра се образуват устойчиви сводове от по-едри частици за сметка на изнесените дребни частици и по този начин се образува т. нар. естествен филтър. При образуването на естествен филтър на водоприемната система се осигуряват условия за преминаване на филтрационната вода в сондажа с най-малко съпротивление и без механични частици. Следователно проектирането и изграждането на филтрационната система е много важен процес и има голямо значение за ефективната и дълготрайна работа на мониторинговия сондажен пункт.

Пробиване на отворите и разположението им по околната повърхнина на филтъра. Очевидно е, че отворите за водата трябва да са разположени равномерно по околната повърхнина на филтъра. За тази цел най-подходящо е отворите да бъдат разположени шахматно при което се спазва условието междуцентровото им разстояние на съседните отвори да бъде еднакво. За да се изпълни това условие е необходимо пробиването да се извърши на металообработваща машина за точно центроване на отворите.

Кръговите отвори се пробиват ръчни или машинно със свредел, а шлицовите - с дисков фрезер.

Междучентовото разстояние на отворите зависи от конкретните условия на мониторинговия сондаж. За условията на рудник "Асарел" се счита че най-подходящи са шлицовите отвори, които са разположени съсно на филтърната тръба, а не диаметрално. При диаметралното разположение на отворите съществено се намаляват якостните показатели на тръбния филтър.

Тъй като дължината на филтъра са условията на рудник "Асарел" е по-голяма от дължината на една тръба то за целта се използват две или три тръби, които се снаждат. Отворите за водата се пробиват равномерно по цялата тръбна повърхнина включително и по снажданите участъци.

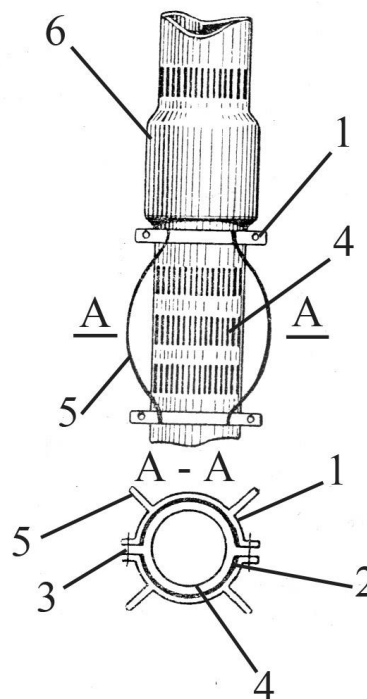
Входна част от тръбната колона. Тази част 9 (фиг. 2) се разполага над филтъра и осигурява технологична връзка на филтъра и утайника с помпения или компресорния агрегати, разположени на работната площадка. Входната част е известна още като надфилтърна част и се състои от същия вид тръби и с еднакъв диаметър, както е на тръбната колона, но по нейната повърхнина не са пробити отвори. Дължината на входната част h_3 се определя от дебелината на фундамента на сондажа h_4 плюс технологичната височина h_5 , която е от 40 до 50 см разположена над нивото на работната площадка. Тъй като за условията на р. „Асарел“ водоносния пласт започва под фундамента на сондажа, то дължината на входната част е сравнително малка и достига до 2-2,5 m.

За повишаване на якостта на филтърния комплект снаждането на отделните тръби осъществено чрез т. нар. топла сглобка е препоръчително да се подсили, чрез подходящо метално нитоване.

Утайник. Тази част 2 (фиг.2) се разполага под филтъра и представлява завършващ елемент от тръбната колона. Утайникът е с дължина h_1 от 2-3 m и по конструкция е подобен на входната част на колоната, но долния му край е затворен. Предназначението на утайника е в него да се събират скалните частици преминали през филтъра. Освен това утайникът служи за почистване на тръбната колона при използването на ерлифт. В случая в утайника се разполагат т. нар. смесител на ерлифта от който излиза съгстенния въздух от ерлифтната система.

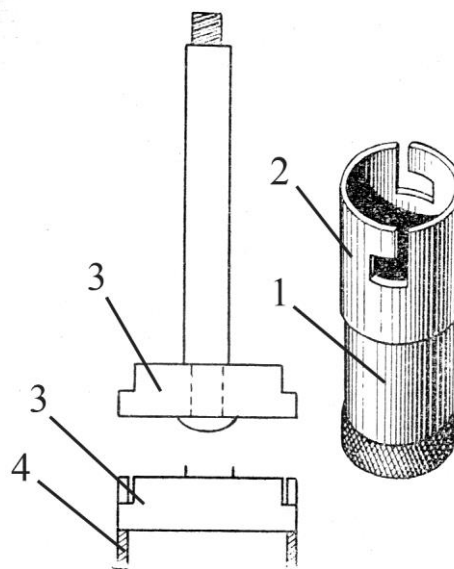
Монтаж на тръбната колона. На работната площадка на сондажа се сглобяват отделните елементи от тръбната колона с дължина съобразена с техническите показатели на спускащо-подемната механизация.

За центрирането на филтъра спрямо сондажния отвор в двата му края се монтират специални центриращи устройства показани на фиг. 3. Устройството се състои от два хамута 1, които чрез вложката 2 и болтовите 3 връзки неподвижно се закрепват към единия край на филтъра 4. Двата хамута са свързани чрез четири еластични стоманени ленти 5 разположени на 90° една спрямо друга. Максималното диаметрално разстояние между две срещуположни ленти е съобразено (равно) с диаметъра на сондажа. По такъв начин се осъществява центрирането на филтъра спрямо сондажа.



Фиг.3 Центриращо устройство за филтъра
1 – хамут; 2 – вложка; 3 – болтови връзки; 4 – филтър; 5 – стоманена лента; 6 – входна част на тръбната колона.

За вертикалното центроване (повдигане и спускане) на филтъра спрямо водоносния пласт, в горния край на тръбната колона 1 (фиг.4) неподвижно е закрепена муфата 2, в която са фрезирани два срещуположни прореза, в които се разполага ключа 3. ключът е закрепен шарнирно към спускащо-повдигателното съоръжение.



Фиг.4 Устройство за вертикално центриране на филтъра спрямо водоносния пласт
1 – тръбна колона; 2 – муфа с прорези; 3 – ключ за връзка на муфата със спускащо-повдигателното съоръжение.

Гравийна засипка.

Гравийната засипка е елемент от водоприемната филтърна система на мониторинговия сондаж. Основното качество на гравийната засипка е, че увеличава радиуса на водоприемната част и подобрява филтрационните свойства на водите около филтровата зона. Гравийната засипка намалява входните скорости на вливане на водите във филтъра и удължава експлоатационният му срок.

Най-подходящ материал за засипването на пространството между филтъра и сондажа е гравийният материал. Гравият е широко използван материал за различни цели в строителството и има различна характеристика. За хидротехнически цели и по специално за филтруване на подземни води гравият се дефинира като несвързани и различно оформени минерални частици с напречно сечение от 1 до 10 mm. Гравият за филтрационни цели обикновено е от седиментен произход.

Материалът предназначен за гравийна засипка трябва да отговаря на изискванията за механична якост и устойчивост срещу химическо въздействие от агресия на води с киселинен характер ($\text{pH} < 7$). За гравийна засипка е препоръчително да се използва гравий от магмени скали (гранит, сиенит, диорит, габро, базалт, диабаз и др.) с плътност от 2, 3 до 2,7 t/m³ или здрави седиментни скали (пясъчници и окварцени варовици) с плътност от 2 до 2.4 t/m³.

Не се допуска използването на гравий от карбонатни скали, тъй като са податливи на киселинно въздействие от водите с малък водороден фактор.

Не се препоръчва и използването на ръбести гравийни материали туй като спомагат за бързото натрупване на механични и химични вещества.

Най-подходящ гравийен материал за филтърна засипка е кварцът с добре заоблени зърна от речен произход. С такъв материал се намалява вероятността за задръстване на филтърното пространство и се гарантира възможно максимална пропускливост на водоприемната система на сондажа.

Полагане на гравийната засипка във филтърната система на сондажа. Полагането на гравийния материал в пространството между тръбната колона и сондажа е важна технологична операция от която зависи качеството и дълготрайността на водоприемната система. Има няколко начина за полагане на засипката: директно, ерлифтно и др.

Директният начин е много прост и се извършва при запълнен с вода сондаж. Гравийният материал се подава чрез лопата или друго механично средство от устието на сондажа, като се запълва пространството между колоната и сондажа. Полагането на засипката по този начин е качествено, тъй като материалът се разслоява, поради различната едрина на зърната и различната им скорост във водата. При мониторинговите сондажи дебелината на гравийната засипка във водоприемната система е малка и има голяма вероятност да се образуват т. нар. заслони и джобове (кухини), тъй като се задържат едрите гравийни зърна по неравностите на стената на сондажа и в крайна сметка не се получава равномерен слой. По този начин може успешно да се полага при големи диаметри на сондажа.

Ерлифтното полагане на засипката се състои в това, че гравийният материал се подава в сондажа, запълнен с вода, като в тръбната колона е поставен и действа ерлифт. Изходът на ерлифта е дъното на сондажа и при неговото действие (подаване на сгъстен въздух) се осъществява бавно и регулирано падане на гравийния материал. По този начин се образува равномерен слой на филтрационната засипка. За образуването на качествена структура на филтрационната засипка подаването на гравийния материал не трябва да е по-голямо от 1 m³/h

Заклучение: Разгледана е подробно тръбната филтърна част и гравийната засипка от водоприемната система на мониторинговия сондаж.

За качеството на гравийната засипка основно значение има зърнометричната характеристика на материала, но тъй както този въпрос има специфичен характер не се разглежда в настоящата публикация.

Литература

- Петров, М. С. и др. 2010. Прокарване на сондажи за мониторингови пунктове за подземни води, замърсявани от разработването на медни руди по открит начин. С., *Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски“*
- Гълъбов, М.М., 1985. Хидродинамика на подземните вододобивни и дренажни съоръжения, С. „Техника“ 319.
- Велков, М., К. Радев, Т. Д., Попов, С. Д. 1976. Наръчник по строителство на сондажни кладенци, С., Държавно издателство Техника.

ПРОКАРВАНЕ НА СОНДАЖИ ЗА МОНИТОРИНГОВИ ПУНКТОВЕ ЗА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ, ЗАМЪРСЯВАНИ ОТ РАЗРАБОТВАНЕТО НА МЕДНИ НАХОДИЩА ПО ОТКРИТ НАЧИН

Михаил Петров¹, Николай Лулов², Атанас Радев¹

¹Омикрон АД, 1527, София, ул. „Искър“ № 63, mihail@ybobg.com

²РИОКОЗ, 4400, Пазарджик, ул. Болнична № 17, riokoz_pz@tlcabele.com

РЕЗЮМЕ: При добива, преработката и складирането на отпадъците от производството на медни руди се създават предпоставки за замърсяване на повърхностните и подземните води в района на открития рудник, насипищата за разкривка и отпадъкохранилищата.

Контролът на водите се осъществява с мониторингови пунктове. Мониторинговият пункт представлява сондаж (пиезометър), който служи за вземане на проби, чрез които се определя интеграционната оценка на режима, качествените и количествените показатели на подземните води от съответния водосборен район или на водите около и под нивото на реката.

Разгледани са възможностите за проектиране, избор, изграждане и експлоатиране на мониторингови сондажи, както и схемата за подготовка на съответната площадка, определяне на параметрите на сондажа, машините и инструментите за прокарването му.

MAKING DRILLINGS FOR MONITORING POINTS FOR UNDERGROUND WATERS POLLUTED BY OPEN PIT COPPER DEPOSITS EXPLORATION

Mihail Petrov¹, Nikolaj Lulov², Atanace Radev¹

¹„Omicron“ JSC“, 1527 Sofia, Iskar str. № 63a, E-mail: omicron@ybobg.com

²RIOKOZ, 4400 Pazardzhik, Bolnichna str. № 17, riokoz_pz@tlcabele.com

ABSTRACT. In extraction, processing and storage of waste from the copper ores there are prerequisites for contamination of surface and groundwater in the area of the open groove, and heaps of burden and waste depository.

Control of water is done with monitoring points. The monitoring station is a drilling (piezometer), which serves for getting trials, by which is determined the integration valuation of the regime, the qualitative and quantitative indicators of groundwater by the respective water catchment area or of the water around and below the level of river.

The possibilities for design, selection, construction and operation of monitoring drillings, as well as the scheme for the preparation of the respective site, determining the parameters of the drilling, machinery and tools for its passage.

Замърсяване на водите от разработването на медни находища по открит начин. При разработването на тези находища се добиват годишно големи количества руда, достигащи до десетки милиона тона (Елаците-14 млн.т., Асарел-13 млн.т. и др.), които се транспортират и преработват, а отпадъкът се депонира в отпадъкохранилища.

Извън балансовите руди с метално съдържание под кондиционния минимум се депонират в специални насипища, където се подлагат на т.нар. излужване, като се третира с химикали, с цел да се оползотвори максимално металното им съдържание. Тези технологични дейности могат да създават екологични проблеми, един от които е замърсяването на повърхностните и подземните води.

Замърсяването на водите се състои в намаляване на водородния фактор (водите стават кисели с понижени стойности на pH) и с наднормено съдържание на метали (Cu, Mn, Fe) и сулфати (SO₄). За предотвратяване на замърсяването на водите се изграждат различни хидротехнически съоръжения, които предпазват водите от замърсяване.

За оценка на ефективността на тези хидротехнически съоръжения се изграждат мониторингови пунктове за периодично изследване на режима за опазване на водите, както и за контролиране на техните качествени и количествени показатели.

За мониторинг (наблюдение) на замърсените подземни води във водосборния район на рудник „Асарел“ - р. Асарелска, р. Панова и р. Марешка, в който е разположен рудничния комплекс са изградени сондажни мониторингови пунктове.

Проектирането и изграждането на тези мониторингови сондажи са представени по долу.

Сондажни пунктове за мониторинг на подземните води в района на рудник „Асарел“. Сондажният пункт за мониторинг представлява вертикален сондаж с определени параметри (дълбочина и диаметър), който е предназначен за извършване на периодични измервания на дебита, нивото, качествените и количествените показатели на водите.

Мониторинговият пункт обикновено се разполага в характерни точки от водосборната територия на рудника. Точките обикновено се избират в близост, но под нивото на противифилтрационни завеси, водни резервоари и други хидротехнически съоръжения, като по този начин се цели да се оцени тяхната ефективност при нормален режим на подземните води и/или при екстремни условия (проливни и продължителни дъждове и бързо снеготопене). Понякога сондажен мониторингов пункт се разполага и в непосредствена близост, но преди вливането на реката в друга речна система. В случая чрез мониторингови изследвания (вземане на проби) се определят интеграционните оценки на режима, качествените и количествените показатели на подземните води от водосборния район на реката или около съответния водосбор.

Изграждането на мрежа от мониторингови пунктове за контрол на режима на подземните води от територията на разработваните рудни находища по открит начин е нова дейност за страната, поради което все още няма приети стандарти и методика за тяхното проектиране.

По долу се представя опита на авторския колектив по проектирането и изграждането на мониторинговата система от сондажни пунктове, които са реализирани на територията на рудник „Асарел“. Системата работи надеждно повече от 5 години и продължава успешното контролиране качеството на подземните води.

Проектиране и изграждане на мониторингови сондажни пунктове.

Дейностите по проектиране и изграждане се извършват в два последователни етапа, обхващащи всички проучвателни, проектни и технологични дейности по прокарването на сондажа в следната последователност:

- определяне на местоположението и основните параметри на сондажа;
- избор на сондажна техника;
- изграждане на работна площадка и монтиране на сондажната техника;
- изграждане устието на сондажа;
- прокарване на сондажа;

Първият етап от изграждането на мониторинговия пункт се характеризира в технологично отношение с това, че с прокарването на сондажа се освобождава сондажната машина и следващите дейности се извършват със спомагателни агрегати.

Вторият етап от изграждането на мониторинговия пункт включва: изграждане на водоприемна филтърна система в сондажа и водочерпене за неговото почистване. Тези дейности поради специфичния им характер не се разглеждат в доклада.

Определяне на основните параметри на сондажа. Дълбочината и диаметърът на сондажа са главните му показатели и се определят от хидрогеоложки, технологични и икономически фактори.

Дълбочината на сондажа зависи главно от дебелината на напуканите скали, през които се филтрират водите от различните технологични обекти на рудника. От геоложките проучвания е установено, че дебелината на тези напукани скали варира от 2.5 до 17m, като по технологични изисквания за промиване на сондажа и за вземане на водни проби за мониторинговите изследвания, дълбочината на сондажите трябва да се удълбае с 2-3 m повече след просондирването на напуканите скали. По такъв начин общата дълбочина на сондажа H е:

$$H = h_{\text{ф}} + h_{\text{нап. ск.}} + h_{\text{техн.}}, \text{ m,}$$

където $h_{\text{ф}}$ е дълбочината на фундамента на сондажа, m;

$h_{\text{нап. ск.}}$ - дебелината на напуканите скали, m;

$h_{\text{тех.}}$ - технологичната дълбочина, m.

Диаметърът на сондажа, респективно светлото му сечение се явява функция от няколко показатели и се определя главно по технологични фактори, но има и второстепенно икономическо изискване за минимизиране на този показател.

В класическия случай при водоснабдителния сондаж диаметърът му се определя от максималния воден дебит и водоприемната му част. В случая, за мониторинговия сондаж, определящ фактор е конструкцията на водоприемната част, тъй като водните дебители са сравнително малки. За конкретните хидрогеоложки условия в района на рудника и изискванията за мониторинговите изследвания се счита, че най-подходяща конструкция на водоприемната част е филтър със засипка. В случая диаметърът на сондажния отвор D_c е:

$$D_c = D_{\text{ф}} + 2b_{\text{зас.}}, \text{ mm,}$$

където - $D_{\text{ф}}$ е външният диаметър на филтъра, mm;

$b_{\text{зас.}}$ - дебелината на засипката, mm (≥ 30 mm).

Диаметърът на филтъра, респективно светлото му сечение се определя от диаметъра на потопяемата помпа или на ерлифта, които се използват за промиване на сондажа и се разполагат във филтърната колона. Като се има в предвид малките водни дебители се счита, че тръбен филтър от дебелостенна пластмасова тръба с $\varnothing 110$ mm е достатъчен за разполагането на потопяема водна помпа за малки дебители. Габаритните размери на ерлифта са по-малки от тези на помпата (за еднакви дебители) и избраният тръбен филтър е подходящ и за почистването на сондажа и чрез ерлифтно водочерпене.

В заключение избраният диаметър на филтъра, респективно на неговото светло сечение се приема за минимално допустимо по отношение на икономическите изисквания.

Въз основа на горните съждения, при минимална дебелина на засипката от 30 mm диаметърът на сондажния отвор се определя на 170 mm.

Сондирането на напукани диорити и андезити в района на рудника е най-рационално да се извърши с ролкови длета, като най-близкия по-голям стандартен инструмент е ролково длето № 8 с $\varnothing 190 \pm 1$ mm. По този начин диаметъра на сондажа се определя на 190 mm. В случая дебелината на засипката е 40 mm.

Избор на сондажна техника. За целите на мониторинговите изследвания не е необходимо изваждането на ядка. При прокарването на този тип сондажи, най-важна роля има сондажната машина, която се избира при следните условия:

- максимална дълбочина на сондажа min 20 m,
- диаметър на сондажа 190 mm и
- сондиране на напукани диорити и андезити от IV до VIII категория.

При тези условия сондирането с триролков длет е без алтернативно решение - като най-технологично, най-производително и в крайна сметка е с най-малка себестойност. Сондирането по този начин е най-подходящо да се извършва с машина за роторно сондиране, тъй като тези машини се използват при проучване на различни полезни изкопаеми и хидротехнически сондажи. За изброените по-горе случаи, препоръчително е да се използват произведените от европейски, американски и руски компании машини, които биват:

- стационарни,
- самоходни шасита и
- авто-сонди

В България масово се използва сондата 1БА-15В (руско производство) за обслужването на която има подготвен квалифициран персонал.

Окончателният избор на сондажна машина от този тип се определя, както от техническите ѝ параметри така и от цената за прокарване на един метър сондаж.

За условията на сондиране в района на р-к „Асарел“ е използвана автосонда 1БА-15В (руско производство).

Сондата е монтирана върху шасито на товарен автомобил МАЗ -500. Състои се от мачта с обтяжки и задвижване от двигателя на автомобила, чрез предавателна кутия с пет възможни предавки. Три от тях са за задвижване на сондажните механизми (ротор, лебедка и др.), четвъртата е за задвижване на помпата, а петата - за компресора.

Към авто-сондите има отделни помпен и компресорен агрегати, монтирани на самостоятелни шасита, като те се задвижват със собствени дизелови двигатели.

Тази сондажна техника е унифицирана с присъединителни възли, което дава възможност всички агрегати да работят самостоятелно, като двигателят на автомобила (ЯМЗ-236) има мощност 77 kW, двигателят на компресорния агрегат (Д-108) е с мощност 79 kW, а мощността на двигателя на помпения агрегат (ЯМЗ- 236) е 76 kW. По този начин се постига голяма надеждност на сондажната техника, тъй като при отказ на някой от двигателите, задвижваните от него механизми се купират към някой от другите двигатели без да се прекъсва технологичния процес.

Изграждане на работната площадка и монтиране на сондажната техника. Проектирането на работната площадка се извършва на базата на габаритните размери

на сондажната техника (сондажна машина, помпен и компресорен агрегат). За изграждането на площадките трябва да се имат в предвид, както теренните условия, така и налагащите се изкопни и насипни работи. След изграждането на площадката се разполагат сондата, помпения и компресорен агрегат, както и другите помощни съоръжения.

Примерно разположение на сондажната машина 1БА-15В с габаритни размери на основните агрегати е показано на фигурата.

Автосондата се нивелира на площадката, като се стабилизира с монтирани към шасито на автомобила крикове, така че ресорите в задната част на автомобила да се разтоварят. Криковете трябва да стъпят върху надеждни твърди опори (греди, бетонни блокове и др), след което се пристъпва към издигане на мачтата с хидравлични цилиндри с двустранно действие. След издигането на мачтата се проверява нейната вертикалност и се укрепва с допълнителни крикове и обтяжки.

Останалите агрегати и помощни съоръжения се монтират на съответните места, според проектната схема.

Изграждане на устието на сондажа. След монтирането на сондажната машина, съобразно с нейното разположение се определя оста на сондажа. Спрямо тази ос се изгражда устието на сондажа, което представлява стоманобетонен фундамент, в центъра на който е замонолитена вертикално разположена стоманена тръба.

Изграждането на фундамента се налага поради това, че теренът е покрит от несвързани скални късове и наноси, които е невъзможно да се сондират. Фундаментът предотвратява вливането на повърхностните води в сондажния отвор, което не се допуска.

Фундаментът може да бъде с форма на квадратна призма, пресечна квадратна пирамида (лежаща на малката основа) или цилиндър.

Размерите на фундамента и неговата армировка са съобразени с екстремните натоварвания, които могат да се появят при прокарването на сондажа.

Дълбочината на сондажа се определя от дебелината на свързания скален слой, който за условията на района е около 1 m.

Дъното на фундамента се залага върху монолитни (здравосвързвани), но напукани в различна степен диорити и андезити, по които се филтрират дъждовните и промишлени води от района на рудника.

За ускоряване на втвърдяването на фундамента се използва бързо втвърдяващ се бетон.

Стоманената тръба, замонолитена във фундамента трябва да бъде от неръждаема стомана, каквито са обсадните тръби. Вътрешният диаметър на тръбата трябва да е съобразен с напречното сечение на работния инструмент за сондиране и в случая най- подходяща е 8

цолова, неръждаема тръба, която е стандартен размер и удовлетворява това условие.

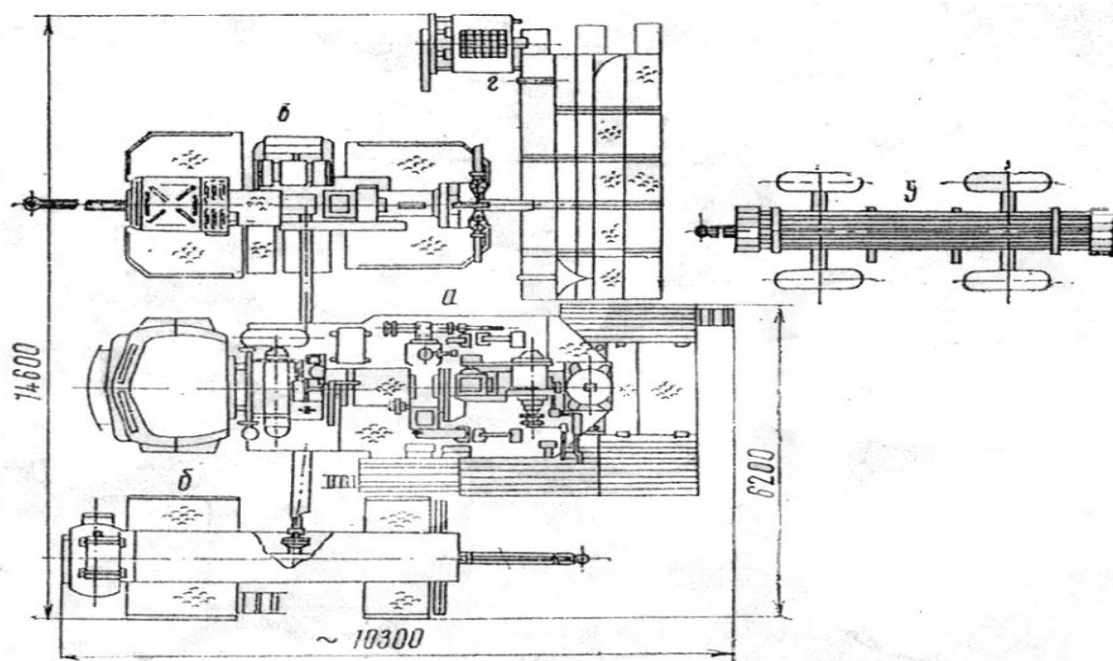
Горната повърхнина на фундамента съвпада с повърхнината на работната площадка, но стоманената тръба по технологични изисквания надвишава това равнище с 0.4 - 0.5 m.

Прокарване на сондажите. Тъй като мониторинговите сондажи в случая са с малка дълбочина (до 20m), то сондирането се извършва с три ролкови длета с еднакъв диаметър (190mm). Основната технологична задача при сондирането е да се подбери сондажен инструмент (длето) с подходяща характеристика за разрушаването на скалния интервал. При сондирането скалите се характеризират с петрографски вид, твърдост, зърнистост на минералите,

абразивност и напуканост, които показатели са обединени в показателя – категория на сондируемост.

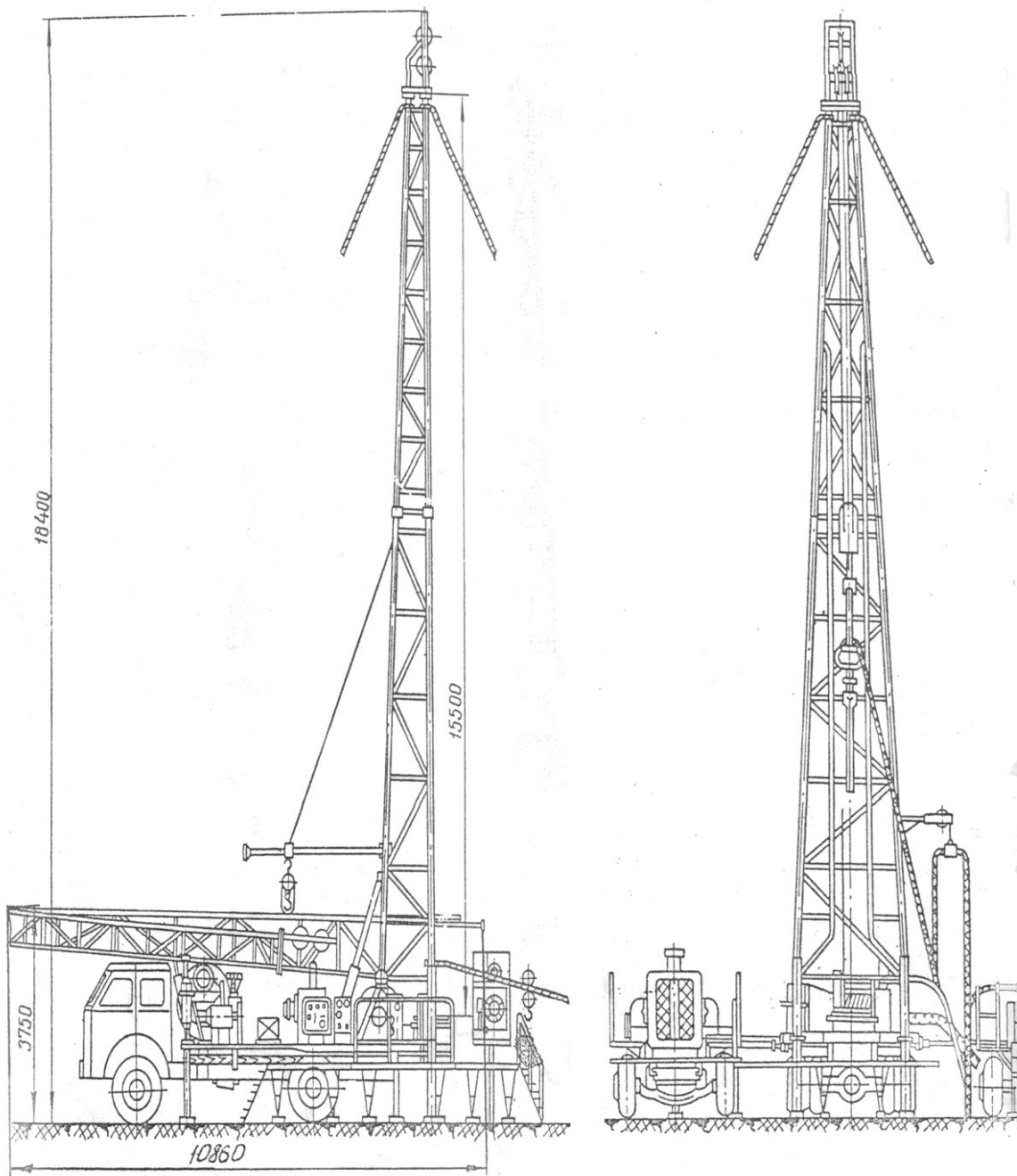
От геолого - проучвателните сондажи е известно, че напуканите диорити и андезити, се отнасят от IV до VIII, а здравите (не напукани) се отнасят към IX категория. За меки средно твърди скали от IV и V категория се използва длето № 8 тип МС, за средно твърди скали от V до VII категория тип - С, а за твърди скали от VII до IX категория - тип Т . Зъбите на ролковите длета от тип Т са армирани с твърдосплавни пластини.

С прокарването на сондажа завършва първия етап от изграждането на мониторинговия пункт.



Фиг. 1 Схема за разположенията на авто-сонда 15А-15В и нейните агрегати:

а-сондажна машина; б - компресорен агрегат, в -помпен агрегат, г –глинобъркачка, д -ремарке тръбовоз



Фиг. 1 (Продължение) Вертикален изглед на авто-сонда 1БА-15В и нейните агрегати.

Литература

Буровой агрегат 1БА-15В. ,1995. Инструкция по эксплуатации. М., Фирмен каталог МАШИНОЭКСПОРТ

Велков, М. К., Т. Д. Радев, С.Д. Попов, 1976, Наръчник по строителство на сондажни кладенци, С., ДИ Техника, 286 с.

Йорданов, Д. С., В. П. Аризанов, 1994, Основи на сондирането, С., ДИ „Техника“, 364 с

Препоръчана за публикуване от
Редакционен съвет

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ ИНЕРЦИОННИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ПОДЕМЕН СЪД ЗА РУДНИЧНА ПОДЕМНА УРЕДБА

Евтим Кърцелин, Живко Илиев

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

РЕЗЮМЕ. Представена е методика за експериментално определяне инерционните характеристики на подемен съд за руднична подемна уредба
Ключови думи: Руднични подемни уредби. Инерционни характеристики на подемен съд, експериментално изследване

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF INERTIA OF CHARACTERIZATION OF WINDING VESSEL FOR MINE WINDING MACHINE

Evtim Kartcelin, Zhivko Iliev,

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

ABSTRACT. The methods is made of experimental determination of inertia of characterization of winding vessel for mine winding machine

KEY WORDS: mine winding machine, inertia of characterization of winding vessel, experimental determination

Въведение

Рудничните подемни уредби се използват при подземния добив на полезни изкопаеми в продължение на повече от 100 години. На този етап от развитието на науката и на промишлените технологии не се осигуряват алтернативни решения, които биха могли да бъдат конкурентноспособни на рудничните подемни уредби по показателите за икономичност, производителност, безопасност и опазване на околната среда. Тези обстоятелства определят перспективите в използването на РПУ и в близките 50 - 100 години

Резултатите от многогодишната експлоатация на РПУ показват, че независимо от техните безспорни предимства в сравнение с другите видове технически средства за вертикален транспорт при подземен добив на полезни изкопаеми на големи дълбочини, тяхната работа е съпроводена с редица недостатъци, в резултат на което възникват аварии и катастрофи. Съществено е да се отбележи, че аварии и катастрофи възникват в РПУ, които на пръв поглед удовлетворяват всички изисквания на действащите у нас нормативно-технически документи и проектни решения. В резултат на това в редица случаи именно РПУ се явяват една от основните причини за недостигане на проектната производителност на един рудник за подземен добив на полезни изкопаеми.

Обяснение на проблемите, които съпровождат експлоатацията на РПУ е възможно да се търсят в следните две направления:

- на първо място – отсъствието на нормативна база за определяне на показателите надеждност и безопасност, които трябва да се решават още на етап проектиране на тези обекти.

- на второ място – не са изучени в пълна степен сложните процеси на взаимодействие, между елементите на един рудничен подемен комплекс, особено в екстремни, критични ситуации.

Не е случаен фактът, че голяма част от нормативните изисквания, които определят условията за безопасна експлоатация на РПУ в различни страни се явяват принципно различно, като например : коефициент на запас на механична якост на подемните въжета и на условията за тяхното бракуване; стойност на ускорението при увеличаване и намаляване на скоростта за движение на подемните съдове, стойност на спирачния момент и др.[1]

Развитието на минната промишленост през 21 век ще бъде подчинено на основните закони на пазарната икономика: ниска енергоемкост; минимум на материални, трудови и финансови ресурси на висока конкурентно-способност. Ето защо проектирането на нови и експлоатацията на съществуващите рудници трябва да премине от количествени показатели към показателите за качество и ефективност.

Важно място в решаването на тези и други проблеми заемат задачите за по-нататъшно усъвършенстване на рудничните подемни комплекси, които представляват едно от основните звена в технологичната верига за подземен добив на полезни изкопаеми

Редица изследвания доказват [2,5], че характерът на процеса на взаимодействие между движещ се подемен съд и армировката на вертикалната шахта в значителна степен се определят от инерционните и якостни характеристики на подемния съд. Тези характеристики на подемния съд(ПС) участват в определянето на условията за динамическата устойчивост на системата „подемен съд -армировка”.

Аналитичното изчисляване на основните технически характеристики на ПС поради обясними причини е съпроводено с редица приближения и грешки в крайните резултати. В основните нормативни документи [6,7], които регламентират определени условия и изисквания към РПУ, няма приложени методи за експериментално измерване и определяне на основните характеристики на РПУ, включително и за ПС.

В доклада е обоснована и предложена методика за експериментално определяне на инерционните характеристики на ПС за Руднична подемна уредба.

Методи за експериментално изследване инерционните характеристики на ПС за РПУ

Част от задачите, които трябва да се решават за провеждането на експериментални изследвания са свързани със следното:

Методът за експериментално изследване трябва да изисква минимални разходи за неговата подготовка и провеждане, а получените резултати да бъдат с необходимата точност, като се отчитат специфичните особености на обекта за изследване (ПС за РПУ представлява тяло със сложна форма, голямо тегло и значителни габарити).

Известно е, че инерционните характеристики на тела с големи габарити е възможно да бъдат определени по метода на махалото, като се използва една от класическите схеми [4]:

- физическо махало;
- двойно махало;
- полифилярно окачване;
- люлееща се платформа с пружини;

Най-голямо разпространение от посочените методи е получил метода на физическото махало, притежаващ по мнението на редица автори съществени предимства, които се състоят в следното: сравнително проста и лесна реализация, малки разходи за подготовка и провеждане на експеримента, не изисква специална измервателна апаратура. Предимствата на този метод не са приложими обаче във всички случаи. В частност, подготовката и провеждането на експериментално изследване на тела с произволна форма голямо тегло и габарити е твърде сложно и не във всички случаи е възможно. Тези проблеми особено много се задълбочават и усложняват, когато изследваното тяло е с произволна форма, с неизвестно положение (координати), на центъра на тежестта (ЦТ), ако една от задачите е определянето именно на координатите на ЦТ, а също така и на инерционните моменти.

От сравнителния анализ на използваните методи за експериментално изследване и определяне на динамичните параметри на ПС е най-подходящ метода с подпружинна платформа

Използвани координатни системи за изследване динамиката на подемен съд за руднична подемна уредба.

За съставянето на системата диференциални уравнения за движение на подемен съд на РПУ и определяне динамичните му характеристики се използват следните координатни системи (фиг. 1)

1. Координатната система O^1, x^1, y^1, z^1 – това е координатна система, неподвижно свързана с вертикалната шахта, при която:

X^1 – хоризонталната ос, успоредна на надлъжната ос на подемния съд (перпендикулярна на равнината определена от водачите, по които се движи подемния съд (водачите са разположени двустранно на подемния съд));

Y^1 – хоризонтална ос, перпендикулярна на надлъжната ос на подемния съд (успоредна на равнината, определена от водачите при условието за двустранно странично разположение спрямо подемния съд.);

Z^1 – вертикална ос съвпадаща с оста на отделението в шахтата, в което ще се движи подемния съд се явява ос, успоредна на посоката на неговото разтоварване;

φ – ъгъл на завъртането на подемния съд в равнината на водачите от армировката (завъртане около оста X);

ψ – ъгъл на завъртане на подемния съд в равнината, перпендикулярна на равнината на водачите (завъртане около ос Y)

θ – ъгъл на завъртане около вертикална ос Z ;

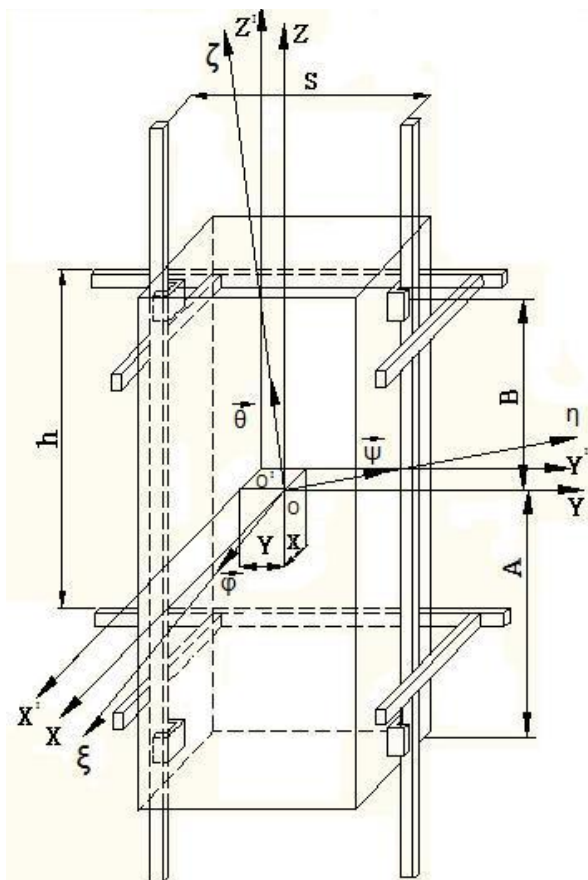
В зависимост от посоката на движение на еластичните елементи от системата „подемен съд – армировка“ спрямо водачите се определят „челно“ и „странично“ преместване. В съответствие с това якостните характеристики се определят като „челни“ и „странични“. За подедни съдове с двустранно странично разположение на водачите челната коравина на елементите от армировката и на подемния съд се определят от силата насочена, по оста Y , а страничната по оста X .

2. Координатната система O_{xyz} – това е подвижна координатна система, осите на която са успоредни на координатните оси на системата O^1, x^1, y^1, z^1 . Началото на тази координатна система съвпадат с центъра на тежестта на подвижния подемен съд.

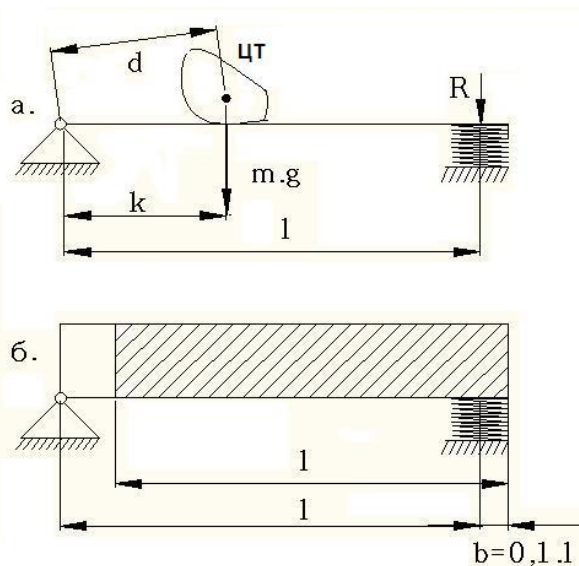
3. Координатната система $O\xi\eta\xi$. Това е подвижна координатна система, твърдо свързана с движещия се подемен съд. Координатите на точката „О“ (център на тежестта на подемния съд) в координатна система O^1, x^1, y^1, z^1 явяват обобщени координати на линейното преместване на подемния съд. Ъглите на завъртане подвижните оси на координатната система $O\xi\eta\xi$ спрямо осите на координатната система O_{xyz} се явяват обобщени координати на ъгловото преместване на подемния съд. С известна степен на приближение се приема:

На Фиг. 2 е показана схемата на изпитвателен стенд. На фиг. 2,а са показани усилията при изпитване на обекта на люлееща се платформа, а на фиг. 2,б – схема за определяне на габаритните размери на стенд за изпитване на подемен съд за руднична подемна уредба. Изпитвателният стенд представлява люлееща се

платформа, която в единия край е монтирана на вал с лагерни опори, закрепени към неподвижна основа. В другия край под платформата се монтират цилиндрични опорни пружини, които се закрепват неподвижно към основите.



Фиг.1



Фиг.2

Резултати

Ако върху тази платформа се постави подемен съд (скип) и след това платформата се изведе от състояние на равновесие, то системата ще извършва колебателни движения (люлеене) във вертикална равнина. При малко

начално отклонение на платформата, нейното колебателно движение се описва със следното диференциално уравнение:

$$(J_c + m \cdot d^2 + J_{пл}) \cdot \ddot{\varphi} + c \cdot l \cdot \varphi = 0,$$

където:

J_c – инерционен момент на подемния съд (скип) спрямо централната ос;

d – разстояние от ЦТ на подемния съд до оста на платформата;

l – разстояние от оста на окачване на платформата до оста на пружините

$J_{пл}$ – инерционен момент на платформата спрямо оста на нейното окачване;

φ – ъгъл на отклонение на платформата от нейното равновесно положение

C – приведена коравина на пружината

Периодът на колебание на платформата с поставен върху нея скип (ПС) се определя по формулата

$$T = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{J_c + m \cdot d^2 + J_{пл}}{C \cdot l}}$$

За изчисляване на централния инерционен момент на скипа се получава следния израз:

$$J_c = (T^2 \cdot C \cdot l^2) / (4 \cdot \pi^2) - m \cdot d^2 - J_{пл}$$

Параметрите C, l и $J_{пл}$ са константи на стенда.

Инерционния момент на платформата се определя чрез измерването на периода $T_{пл}$ на нейното колебание по формулата

$$J_{пл} = \frac{T_{пл}^2 \cdot C \cdot l^2}{4 \cdot \pi^2}$$

Стойността на m се определя чрез измерването на ПС (скипа).

За определянето на положението на центъра на тежестта на скипа се провеждат два опита при две различни положения на скипа (подемен съд, върху платформата за изпитване. Съгласно (4) се записват следната система уравнения)

$$J_{c1} = \frac{T_1^2 \cdot c \cdot l^2}{4 \cdot \pi^2} - m \cdot d_1^2 - J_{пл} \quad (6)$$

$$J_{c2} = \frac{T_2^2 \cdot c \cdot l^2}{4 \cdot \pi^2} - m \cdot d_2^2 - J_{пл}$$

където T_1 и T_2 – период на колебание при първо и второ положение на подемния съд върху платформата

d_1 и d_2 – разстояния от центъра на тежестта на скипа до оста на люлеене на платформата при първо и второ положение на подемния съд.

Разстоянията d_1 и d_2 са свързани със зависимостите

$$d_2 = d_1 - b \quad (7)$$

при преместване на подемния съд от изходно положение в посока към оста на платформата $d_2 = d_1 + b$ (8)

при преместване (отдалечаване) на скипа от оста на платформата.

Минималния габарит на стенда (платформата) се осигурява при изпълнението на зависимостта (7). При изпълнението на условие (7) от (6) се определя.

$$d_1 = \frac{C \cdot l^2 (T_1^2 + T_2^2)}{8 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot b} + \frac{b}{2} \quad (9)$$

Ако се обозначи $\lambda = \frac{T_1}{T_2}$ от (9) се получава следния израз

$$b = \frac{l - l\sqrt{1 - 2(1 - \lambda^2)}}{2} \quad (10)$$

По данни на [4] достатъчна точност от експеримента се постига при $\lambda=0,9$. С отчитането на това условие преместването на скипа спрямо първоначалното (изходното) положение на платформата съгласно (10) трябва да бъде $0,1l$.

От изложеното следва, че определянето на разстоянието от центъра на тежестта на подемния съд до оста на платформата по формула (9) не е достатъчно за да се определят координатите на центъра на тежестта. За тази цел е необходимо да се проведе допълнителен опит, който позволява да се (определи) измери реакцията R в точката на опиране на платформата върху пружините и да се определи положението на една от координатните оси на центъра на тежестта на скипа.

$$K = \frac{R \cdot l}{m \cdot g} \quad (11)$$

Реализация на този опит се провежда при изместване на подемния съд върху платформата означено със заштрихован правоъгълник на фиг. 2.б. Измерването на реакцията R се извършва при равновесното положение на скипа върху платформата, по свиването на пружините, якостните характеристики (твърдост) на които са измерени предварително. При известни стойности на d_2 и K се определят двете координати на центъра на тежестта на скипа. Третата координата се определя чрез повтаряне на опита при завъртане подемния съд около надлъжната му ос и поставяне на другата му страна.

Централните инерционни моменти на тялото се определят аналитично по изразите [4]

$$J_{yz} = \frac{J_y + J_z}{2} - J_4;$$

$$J_{zx} = \frac{J_z + J_x}{2} - J_5;$$

$$J_{xy} = \frac{J_x + J_y}{2} - J_6;$$

Където J_x, J_y, J_z – инерционни моменти на подемния съд спрямо взаимно перпендикулярни централни оси

J_4, J_5, J_6 – инерционни моменти спрямо трите бисектриси

Извод:

Полученият метод е възможно да се използва като основа за разработка на методика за експериментално определяне на инерционните характеристики на подемните съдове за РПУ при експлоатационни и заводски условия при минимална стойност на разходите за подготовка и провеждане на експериментите

Литература

- Дворников В.И. Кърцелин Е.Р. Теоретически основни динамики шахтного подъемного комплекса. С. МОНТ, 1997
- Кърцелин Е.Р. Комплексен математичен модел на руднична подемна уредба МГУ."Св. Иван Рилски", Том 52, св. III, 2009, стр 73-82
- Йочев. И. Щ. Изследване на състоянието и избор на решение за модернизация на рудничните подемни уредби в мини „Горубсо“. Автореферат за получаване на образователна и научна степен „Доктор“, 2002
- Гернет М.М. Ратобильский В.Ф. Определение моментов инерции М. Машиностроение 1969.
- Гладанидис Т.П. Изследване динамическата устойчивост на системата „Армировка-подемен съд“ и деформационно –напрегнатото състояние на елементите на шахтната армировка за определяне на рационална скорост на Руднични подемни Уредби. Автореферат за присъждане на Научна степен „Кандидат на технически науки“, София, 1980.
- 6.Правилник по безопасността на труда в подземните въглищни рудници(В-01-01-01) С. 1992г. Том 1 и 2
- 7.Правилник по безопасността на труда при разработване на рудни и нерудни находища по подземен начин С. Техника 1971г

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

ИЗПОЛЗВАНЕ НА ГЛАВНИ ВОДООТЛИВНИ УРЕДБИ НА ПОДЗЕМНИ РУДНИЦИ КАТО ПОТРЕБИТЕЛИ-РЕГУЛАТОРИ НА МОЩНОСТ

Евтим Кърцелин¹, Румен Исталиянов¹, Иван Проданов², Илия Йочев³, Николай Минеков⁴, Йоана Младенова¹

¹ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: rgi@mgu.bg

² "ЕН ЕМ КО" ЕООД, гр. София

³ "Рудметал" АД, гр. Рудозем

⁴ "Асарел - Медет" АД, гр. Панагюрище

РЕЗЮМЕ. Представени са основните положения на задачата за оптимизация режима на електропотребление на промишлено предприятие чрез създаването на комплекси „потребители-регулатори на мощност“. Определени са условията за използване на главните водоотливни уредби на подземни рудници за работа в режим „потребител-регулатор на мощност“.

Ключови думи: търговия с електрическа енергия, балансираща енергия, потребители-регулатори на мощност, привилегирован потребител, главни водоотливни уредби.

USE OF MAIN PUMP INSTALATIONS WITHIN THE UNDERGROUND MINES AS USERS-REGULATORS OF POWER

Evtim. Kartselin¹, Rumen Istalianov¹, Ivan Prodanov², Iliia Jochev³, Nikolai Minekov⁴, Ioana Mladenova¹

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

² "EN EM KO" EOOD, .Sofia

³ "Rudmetal" AD, Rudozem

⁴ "Asarel-Medet" AD, Panaguriste

ABSTRACT. In the publication are presented the basics of the conception for settlement the problem related with optimization standby power consumption by industrial plant through establishment of models "users-regulators of power"

Key words: electrical energy trade, balancing energy, users-regulators of power, main water pump instalations

Въведение

Една от специфичните особености в развитието на съвременната енергетика в Република България е посочена в нормативния документ [2], с който се определят нови правила за:

- търговия с електрическа енергия при свободно договорени цени;
- определяне на условията за участие и работа на пазара на балансираща енергия;
- определяне на механизмите на балансиране на участниците в пазара на балансираща енергия;
- утвърждаване на методика за определяне на цените на балансираща енергия;
- определяне на условията за ползване на преференциални цени на привилегировани потребители на мощност и определяне на санкциите при нарушаване на договорните условия.

В доклада са представени основни положения на задачата за оптимизация режима на електропотребление на промишлено предприятие чрез създаването и управлението на специални комплекси „потребители-регулатори на мощност“. Определени са условията за използването на

главните водоотливни уредби на подземни рудници като „потребители-регулатори на мощност“.

Потребители –регулатори на мощност

Традиционно наложил се подход за проектиране на системи за електроснабдяване на промишлени предприятия се основава на тълкуването на две принципно различни понятия – "електроснабдяване" и "електропотребление". И макар такава трактовка на въпроса да е напълно обяснима с отсъствието на практическата възможност за акумулиране на електрическа енергия в периодите на минимално натоварване на електроенергийната система и рационалното и използване при възникването на дефицит на генераторна мощност и енергия, в продължение на много години е формирала и формира до настоящия момент неправилното във физически аспект представяне на процеса на електропотребление. Ето защо, много изследователи и проектантите, проблема за оптимизация на режима на електропотребление се свеждат до проблем за оптимизация на системата за електроснабдяване, съставляйки целевите функции по условията за минимум разходи за тяхното строителство и с отчитане (прогнозиране) на

постепенното развитие нарастването на електрическия товар, на предприятията-потребители на електроенергия.

При такъв подход на етап проектиране не се разглеждат и решават задачите за планиране и управление на режима на електропотребление на предприятието в нормални и екстремни (дефицит на генерираща мощност и гориво) условия за тяхното функциониране.

Необходимо е ясно да се представят и разграничават следните процеси:

- Процесите на електроснабдяването и на електропотреблението са физически различни процеси, които съвпадат във времето само дотолкова, докато в технологичната верига "производство-потребление на енергия" няма акумулиращи обеми в промишлени мащаби.
- Основополагащо при проектирането на системи за електроснабдяване се явява процесът на електропотреблението, който на свой ред се определя чрез съвкупност от организационно – производствени, технологични и режимни (за електроенергийната система) показатели, характеризиращи тенденцията, динамиката и качественото ниво на конкретни и перспективни производствени ситуации.
- При проектирането на системи за електроснабдяване се създава материална база за планиране на товарите графици. На колкото по-високо ниво е техническата система за електроснабдяване, толкова са по – големи реалните възможности за формирането на ефективни режими за натоварване на промишлените предприятия.
- Отсъствието на технически средства и възможности за акумулиране на електрическа енергия в промишлени мащаби (дори и при наличието на ПАВЕЦ "Чаира"), принуждава предприятията да купуват (консумират) електрическа енергия дори с ниско качество, с различна цена през различните зони на денонощието.

За някои ненормални режими на електроенергийната система (недопустимо отклонение и несинусоидалност и несиметрия на напрежението) се използват подходящи защитни апарати, които автоматично изключват електроконсуматорите от електрическата мрежа при критични условия.

Съществено подобряване на качеството на електроенергията е възможно само при съвместно решаване на въпросите за електроснабдяване и електропотребление както през етапа на проектирането, така и през етапа на експлоатация на електротехническата система на промишленото предприятие.

От изложеното следва, че се формира една нова задача за съвременната електроенергетика, а именно – електропотреблението в промишлените предприятия да се представя и описва като отделен физически процес, за което е необходимо да се разработят инженерни методи за планиране на режимите на електропотребление и управлението им в нормални и екстремални производствени ситуации.

По правило, промишлените предприятия – потребители на електрическа енергия планират своя режим на работа без да отчитат генериращите възможности на електро-

енергийността система (ЕЕС) и нарушаване на електробаланса е възможно да възникне даже и при кратковременното изключване на част от електроблокове на ЕЕС. Всичко това показва и доказва за очевидно незрялата необходимост за повишаване ефективността на намиращите се в експлоатация генериращи мощности на електроцентралите. Едно от перспективните направления за решаването на този проблем се явява уплътняването на денонощния товаров график (ДТГ) на ЕЕС (1), тоест изравняване на ДТГ без въвеждането на ограничения за електропотребление от промишлените предприятия.

Идеален в този аспект се явява ДТГ на ЕЕС в правоъгълна форма. Такъв товаров график е възможно да бъде формиран само при постоянна в границите на едно денонощие, сумарна стойност на електрическия товар за ЕЕС, равна на максималната стойност. Такива режими на работата на ЕЕС е възможно да бъдат осигурени по два начина:

- Акумулиране на електрическа енергия в промишлени мащаби през периодите (зоните) за минимално натоварване на ЕЕС;
- Формиране на графика за работа на електропотребителите (ЕП) с отчитане на тяхното участие за уплътняване (изравняване) на ДТГ на ЕЕС.

Акумулирането на електрическа енергия в промишлени мащаби е една актуална задача на съвременната енергетика и наука, която няма да бъде решена в една близка перспектива.

Уплътняването (изравняването) на ДТГ на ЕЕС е една актуална и злосторна задача, която е решима при постиженията на съвременната наука, елементната база на техническите системи и състоянието на ЕЕС в страната. Във връзка с това трябва да се посочи, че съвременните научно-технически разработки и решения по въпросите за регулиране натоварването на промишлените предприятия са на ниво, което позволява и осигурява възможност успешно да се решава и управлява задача за уплътняване на ДТГ на ЕЕС при проектиране и експлоатация на електроснабдителните системи (ЕЕС) на промишлените предприятия (ПП).

За разкриване същността на връзката между ЕЕС и предприятията "потребители-регулатори на мощност" е необходимо да се въведат и определят редица понятия, от които ще се представи само понятието "оптимизация на режима на електропотребление на промишлено предприятие" (ОРЕП на ПП).

Оптимизация на РЕП на ПП – това е процес на формиране на ДТГ на предприятието по активно (реактивна) мощност, оптимизирани по условието за минимални разходи за електроенергия и минимални загуби от оперативните ограничения на РЕП на ПП, осигуряващи изпълнението на производствената програма с рационална за конкретните условия ритмичност на работата на промишленото предприятие (4).

Потребителят – регулатор на електрически товар по мощност (П-РМ), това е електропотребител, който се използва за регулиране на активната (реактивна) мощност

на предприятието с цел уплътняване (изравняване) на ДТГ на ЕЕС на ПП. Това понятие е формулирано с отчитането на следните съображения.

На първо място, съгласно общоприетата терминология (2,3,4), електрическият товар по ток и мощност е възможно да бъде с активен и реактивен характер. При формирането на ДТГ на ЕЕС се предполага регулирането на електрическия товар по активна (реактивна) мощност на предприятието.

На второ място, регулирането на мощността е възможно да се осъществява с различна цел. Например, в автоматичен режим се регулира активната мощност на двигателя, задвижващ добивен комбайн на въглищен фронт, с цел формирането на зададено усилие на теглителния (движещия) орган или на съпротивителния момент на вала на двигателя, задвижващ комбайна, за подържане на зададена стойност на консумираната от този двигател активна мощност и т.н. Ето защо в определението „потребител-регулатор на мощност“ се посочва целта на регулирането на товара – уплътняване (изравняване) на ДТГ с ЕЕС.

Принудителното изключване на електропотребителите (ЕП) в периодите на максимално натоварване на ЕЕС без последваща (или предварителна) компенсация от временното прекъсване на електроснабдяването в други зони на денонощието също така води до изравняване на ДТГ, то не за сметка на извънпиковото електропотребление или на други скрити резерви. Ето защо такъв РЕП не се явява решение на поставената задача, макар че и той е възможно да бъде отнесен към „П-РМ“. В доклада се разглеждат „П-РМ“, които допускат изменение (в това число и изключване) на електрическия товар в периодите на максималното натоварване на ЕЕС за сметка на организацията и осигуряването на извънпиково електропотребление при задължително спазване на изискванията на действащите нормативни документи за безопасност [5,6,7] и при проектиране [8].

Както показват изследванията [1,9] ефективно решение на задачата за оптимизация на РЕП на едно минно предприятие е възможно да се осигури чрез създаването на специални комплекси „П-РМ“ на основата на енергоемки електропотребители и системи за електроснабдяване, които имат необходимите технически средства за управление на енергообектите.

Режим на работа на главни водоотливни уредби на подземни рудници като потребители-регулатори на мощност

За формиране и управление товарния график на електроенергийната система участват както производители, така и потребители на електрическа енергия.

За участие на потребителите на електрическа енергия във формирането и управлението на товарния график на електроенергийната система ДКЕВР е утвърдила правила

за привилегирани потребители на електрическа енергия [2].

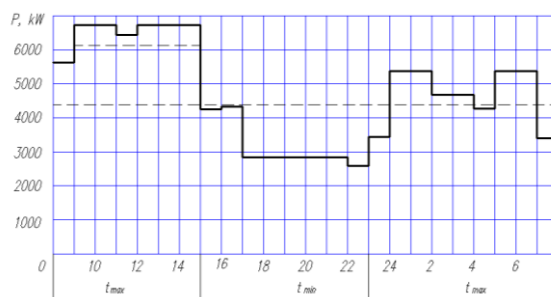
Главните водоотливни уредби на подземните рудници се обзавеждат с мощни асинхронни електродвигатели с късо съединен ротор и имат свободен (независим) режим на работа, т.е. работата на главната водоотливна уредба не е свързана с технологичните процеси в подземния рудник. Ето защо те могат да работят по предварително зададен график и да се използват като регулатори на мощност за енергийната система.

Консумацията на електроенергия в подземния рудник е твърде неравномерна.

На фиг.1 е показан товарния график на шинната система на рудничната подстанция, който се характеризира с периоди на максимални товари с продължителност t_{max} и периоди с минимални товари с продължителност t_{min} .

През времетраенето на максималните товари в режим на „потребители-регулатори“ на енергийната система, помпените агрегати на главна водоотливна уредба са изключени, а притокът на вода от подземния рудник се акумулира в регулировъчния обем на главните водосборници на подземния рудник.

През периодите на малки товари на шинната система на подстанцията се включват в работа помпите на главна водоотливна уредба за изпомпване на водата от регулировъчния обем на водосборника за време t_{min} .



Фиг.1. Товарен график по активна мощност на шинна система на руднична подстанция

Необходимата производителност на помпите и необходимия регулировъчен обем на водосборника се определят по следните изрази:

$$Q_n t_{min} = Q_q t_{min} + W_p$$

$$W_p = Q_q t_{max}$$

$$Q_n = Q_q \left(1 + \frac{t_{max}}{t_{min}} \right)$$

където Q_q - приток на вода m^3/h ;

Q_n - производителност на една помпа в работен режим m^3/h ;

W_p - регулировъчен обем на водосборника, m^3 ;

t_{max} - интервал от време през който помпите са спрени (максимален товар по товаровия график), h ;
 t_{min} - интервал от време за изпомпване на водата от регулировъчния обем на водосборник (минимален товар по товаровия график), h .

Изводи

Създаването на комплекси „потребители-регулатори на мощност“ за участие в изравняването на денонощния товаров график на електроенергийната система при условията на пазарно предлагане и регулиране цената на електрическата енергия се явява едно от най-ефективните решения за мощните потребители на електрическа енергия.

Определени са условията за използване на главните водоотливни уредби на подземни рудници като „потребители-регулатори на мощност“

Литература

- Исталиянов Р.Г., Повишаване енергийната ефективност на помпени уредби в минната промишленост, Дисерт. за получаване на образ. и научна степен „Доктор“, 2010 г.
- Правила за търговия с електрическа енергия (приети с Решение №П-3 от 28.06.2009 на ДКЕВР, обн. ДВ, бр. 59 от 28.07.2009 г.)
- Решение № Ц-30 от 28.08.2010 г. на Държавната комисия за енергийно и водно регулиране (за утвърждаване на нови цени на електрическа енергия)
- Данаилов Д., Рационално използване на електроенергията в минните предприятия, София, Техника, 1985
- Правилник по безопасност на труда в подземните въглищни рудници (В-01-01-01), том 1,2, София, 1992.
- Правилник по безопасността на труда при разработване на рудни и нерудни находища по подземен начин (В-01-02-04), Д.И. „Техника“, София, 1971
- Правилник по безопасността на труда при разработване на находища по открит начин, София, 1996 г.
- Наредба № 3 за устройството на електрическите уредби и електропроводните линии, обнародвана в ДВ, бр. 90 и 91 от 2004 г.
- Кърцелин и др., Влияние на метода за управление на помпените агрегати върху оптималните им параметри при променливо натоварване, Межд. конф. „BULCAMC“08, 27-28. XI 2008 г. София, България, стр. 132-137.

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

НЯКОИ РЕЗУЛТАТИ, ПОДКРЕПЯЩИ ТЕОРИЯТА НА КАПИЦА ЗА КЪЛБОВИДНАТА МЪЛНИЯ

Андрей Козаров¹, Снежана Стоянова²

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

² ГИТУТ, БАН, 1113 София

РЕЗЮМЕ: Измежду многото хипотези за произхода на кълбовидната мълния най-достоверна е теорията на Капица. Тя обяснява два безспорно установени факта:

1. Енергийният баланс на светещата сфера може да се обясни само с непрекъснат поток на енергия към нея през цялото ѝ съществуване.

2. Траекторията на мълнията не е обусловена само от въздушното течение и евентуално от гравитацията, което говори за силовата ѝ връзка с някакъв център на механично действие, разположен извън сферата. Наличието на силова връзка означава и енергийна връзка.

Основно възражение към тази теория е недостатъчната мощност, която електромагнитната вълна може да внесе към сфера с радиус от порядъка на $10 \div 15$ cm.

В статията е показано, че при изпълнение на определени условия е възможно да се получи концентриране на електромагнитната вълна от по-голяма повърхност в малкия обем на кълбовидната мълния.

SOME RESULTS WHO SUPPORTING THE THEORY OF KAPITSA FOR THE BALL LIGHTNING

Andrey Kozarov¹, Snejana Stoyanova²

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

² GITUT, Bulgarian Academy of Sciences, 1113 София

ABSTRACT: There are many hypotheses about for origin the Ball Lightning. Most reliable is the theory of Kapitza. The theory of Kapitza explains clearly established two facts:

1. The balance energy of the illuminating sphere can be explained only by a continuous flow of energy toward her throughout its existence.

2. The trajectory of the lightning is not determined only by the air flow and possibly by gravity. It speaks of power connection to the lightning with some mechanical action center. The center of the mechanical action lies outside the sphere. Availability of power connection means and energy connection.

Main opposition towards this theory is the power insufficient which the electromagnetic wave may submit to the sphere with a radius of about $10 \div 15$ cm.

It is presented in the article possibility of getting concentration of electromagnetic wave, from a larger area in the small volume of the Ball Lightning.

Измежду многото хипотези за произхода на кълбовидната мълния най-достоверна е теорията на Капица. Тя обяснява два безспорно установени факта:

1. Енергийният баланс на светещата сфера може да се обясни само с непрекъснат поток на енергия към нея през цялото ѝ съществуване.

2. Траекторията на мълнията не е обусловена само от въздушното течение и евентуално от гравитацията, което говори за силовата ѝ връзка с някакъв център на механично действие, разположен извън сферата. Наличието на силова връзка означава и енергийна връзка.

Основно възражение към тази теория е недостатъчната мощност, която електромагнитната вълна може да внесе към сфера с радиус от порядъка на $10 \div 15$ cm.

В статията е показано, че при изпълнение на определени условия е възможно да се получи концентриране на

електромагнитната вълна от по-голяма повърхност в малкия обем на кълбовидната мълния.

Постановка на задачата

Разглежда се разпространението на електромагнитна вълна в диелектрик с $\mu = \mu_0 = \text{const}$ и $\varepsilon = \varepsilon_0 = \text{const}$, който притежава и някаква минимална проводимост γ , която е съизмерима с величината $\omega\varepsilon_0$, където ω е кръговата честота на електромагнитната вълна. За този случай, при синусоидално изменение на електрическите величини уравненията на Максвел имат следния вид:

$$\begin{aligned}\vec{\text{rot}}\vec{E} &= -j\omega\mu_0\vec{H}; \\ \vec{\text{rot}}\vec{H} &= (\gamma + j\omega\varepsilon_0)\vec{E}; \\ \vec{\text{div}}\vec{E} &= 0;\end{aligned}$$

$$\vec{\text{div}} \vec{H} = 0,$$

където

$$\vec{E} = \vec{i}_x \dot{E}_x + \vec{i}_y \dot{E}_y + \vec{i}_z \dot{E}_z \quad \text{и} \quad \vec{H} = \vec{i}_x \dot{H}_x + \vec{i}_y \dot{H}_y + \vec{i}_z \dot{H}_z$$

Като се приложи методиката, използвана например в [Л1], се получава следния израз за плоска електромагнитна вълна, която се разпространява по оста X:

$$E = E_M e^{-\alpha x} \sin \omega(t - \frac{x}{V}).$$

Тук $\beta + j\alpha = \omega \sqrt{\mu_0 (\epsilon_0 - j \frac{\gamma}{\omega})}$; $V = \frac{\omega}{\beta}$. Елементарният анализ показва, че $\alpha > 0$.

За определяне на величината β се написва:

$$(\beta + j\alpha)^2 = \mu_0 (\epsilon_0 - j \frac{\gamma}{\omega}) \omega^2.$$

При $\gamma < 0,5 \omega \epsilon$ може с грешка под 5 % да се напише:

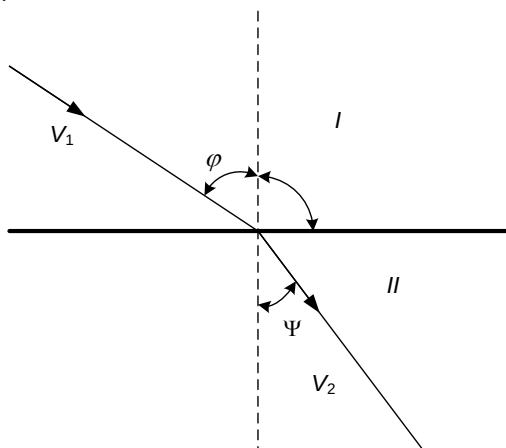
$$(A) \quad \beta = \sqrt{\mu_0} \cdot (\epsilon_0^2 + \frac{\gamma^2}{\omega^2})^{\frac{1}{4}} \cdot \omega \quad \text{и} \quad V = \frac{1}{\sqrt{\mu_0} (\epsilon_0^2 + \frac{\gamma^2}{\omega^2})^{\frac{1}{4}}}$$

Интерес представлява случая, при който активната проводимост γ на средата не е постоянна, а е функция на координатите: $\gamma = \gamma(x, y, z)$. Решаването на диференциалните уравнения е трудно, дори и при използване на съвременна изчислителна техника. За получаване на някои принципи резултати може да се използва и друг подход, основан на известни физически зависимости, познати от класическата физика.

В [2] е дадена формулата:

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \Psi} = \frac{V_1}{V_2}$$

за пречупването на вълната на лъчистата енергия изобщо, каквато е и електромагнитната вълна. Тук V_1 и V_2 са скоростите на разпространение на вълната, съответно в първата и във втората среда, а ъглите са показани на фиг.1:



фиг.1

Решаване на поставената задача

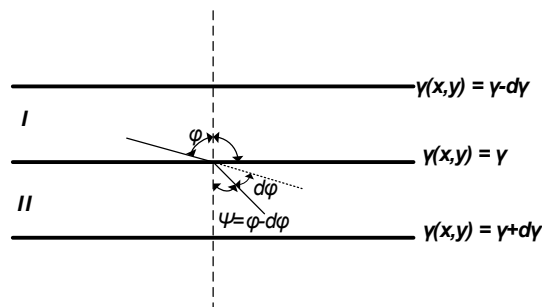
Тези резултати може да се приложат при решаването на поставената задача по следния начин. Приема се, че разпределението на проводимостта на средата е плоско-паралелно, т.е. $\gamma = \gamma(x, y)$, като $\frac{\partial \gamma}{\partial z} = 0$. Разглеждат се три

безкрайно близки линии, определени от уравненията:

$$\gamma(x, y) = \gamma - d\gamma, \quad \gamma(x, y) = \gamma, \quad \gamma(x, y) = \gamma + d\gamma \quad (\text{фиг.2}).$$

За прехода от среда I към среда II може да се напише:

$$(B) \quad \frac{\sin \varphi}{\sin(\varphi - d\varphi)} = \frac{V_1}{V_1 + dV}$$



фиг.2

Лесно е да се прецени, че показаните посоки на фигурата са в сила, когато с напредването на вълната скоростта V намалява, което предполага, че стойността на функцията γ нараства (съгласно формула B). От формула (B) следва:

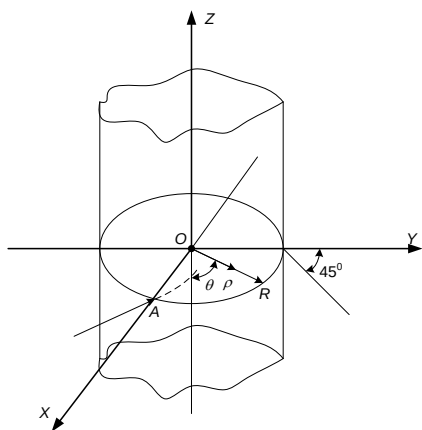
$$(B) \quad d\gamma = - \frac{\text{tg} \varphi}{V} dV$$

За да се получат някои значими физически тълкувания, ще бъде разгледан един конкретен случай, при който областта с променлива проводимост γ представлява прав безкраен кръгов цилиндър с радиус R и ос, съвпадаща с оста z (фиг.3). Нека в т. А от повърхността на този цилиндър попада електромагнитна вълна под ъгъл от 45° , насочена към вътрешността на областта. Приема се още, че разпределението на функцията γ е симетрично спрямо оста z . Ако се въведе цилиндрична пространствена координатна система, това означава:

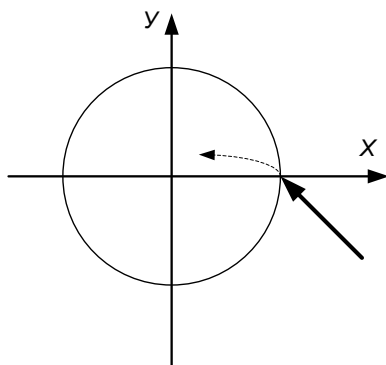
$$\frac{\partial \gamma(\rho, \theta, z)}{\partial \theta} = 0 \quad \text{и} \quad \frac{\partial \gamma(\rho, \theta, \gamma)}{\partial z} = 0, \quad \text{т.е.} \quad \gamma = \gamma(\rho).$$

Явно е, че линиите с постоянна стойност на γ представляват окръжности с център т. О и различни радиуси.

Поставя се следната задача. Каква трябва да бъде функцията $\gamma = \gamma(\rho)$, че електромагнитната вълна да пресича всички линии $\gamma(\rho) = \text{const}$ под ъгъл 45° ? (фиг.4).



фиг.3



фиг.4

За решаването на тази задача първо трябва да се определи аналитичният израз на описаната траектория. От фиг.5 се вижда, че в полярни координати тази крива трябва да отговаря на условието:

$$-dp = \rho d\theta.$$

От тук се получава:

$$\frac{dp}{\rho} = -d\theta \text{ при начални условия } \rho(0) = R.$$

Следователно: $\rho = Re^{-\theta}$.

За определяне на функцията $\gamma = \gamma(\rho)$ се взема предвид следното. За да притежава функцията $\rho(\theta)$ свойството да пресича всеки радиус-вектор под един и същи ъгъл (в случая 45°) трябва да е изпълнено условието: $+d\gamma = d\theta$. Освен това се отчитат формули (A) и (B). Така се написва:

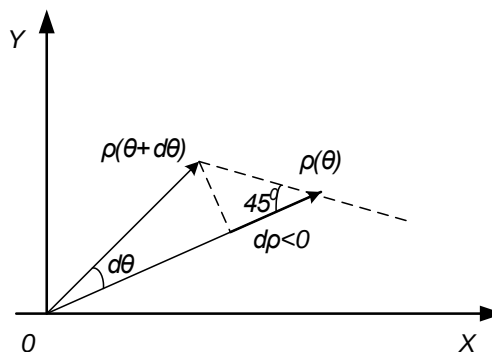
$$\gamma^2 = \omega^2 \varepsilon_0^2 \left(\frac{R^4}{\rho^4} - 1 \right) \text{ за } 0 < \rho \leq R.$$

Вижда се, че е отчетено и условието $\gamma(R) = 0$.

Анализът показва, че основната част от енергията на електромагнитната вълна, попадаща в описаната област с радиус R се отделя като топлина в нея и само малка част

(примерно 10 %) се разсейва в околното пространство под формата на отразена вълна.

Тези количествени резултати са получени аналитично, тъй като е избран подходящ частен случай. Те може да бъдат обобщени качествено по следния начин. Когато електромагнитна вълна попадне в ограничена област от реален диелектрик, в която активната проводимост плавно нараства от периферията към центъра, основната част от енергията на вълната се концентрира поради пречупване в ограничен обем с най-голяма проводимост и се превръща в топлина. Такава област може да възникне поради йонизиращото действие на свободен статичен заряд или в части от канала на токущо прекъсната линейна мълния.



фиг.5

Както е известно [3], съгласно теорията на Капица, енергията към кълбовидната мълния постъпва непрекъснато към нея по време на цялото й съществуване от електромагнитното излъчване, създавано от наелектризираните облаци. Основен проблем в тази теория остава големината на подаваната мощност, която за реалните кълбовидни мълнии се оценява най-малко на няколко стотин вата. Чрез проведеното по-горе ориентировъчно изследване се показва възможността енергията на електромагнитното излъчване при всички възможни посоки и при широк диапазон от честоти да се концентрира в хиляди пъти по-малък обем.

Заклучение

Показана е възможност за концентриране на енергията на електромагнитните вълни в една малка област, независимо от дължината на вълната. Съгласно [2] концентрацията при стоящите вълни не е възможна при вълни с различни дължини.

Литература

- Калантаров и Нейман, Теоретически основи на електро-техниката, т. III, София, 1951.
Сингер, С., Природа шаровой молнии, с.198-217, М., 1973.
Хвольсон, курс физики ч. II, с.234, С. Петербург, 1904.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ГЛАВНА ВОДООТЛИВНА УРЕДБА НА ПОДЗЕМЕН РУДНИК В "РУДМЕТАЛ" АД

Румен Исталиянов¹, Илия Йочев², Иван Проданов³, Николай Минеков⁴, Йоана Младенова¹

¹ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: rgi@mgu.bg

² „Рудметал” АД, гр. Рудозем

³ „ЕН ЕМ КО» ЕООД, гр. София

⁴ „Асарел - Медет” АД, гр. Панагюрище

РЕЗЮМЕ. Представени са резултати от експерименталното изследване на главна водоотливна уредба на подземен рудник в експлоатация.

Ключови думи: главни водоотливни уредби, подземни рудници, експериментално изследване, енергийна ефективност

EXPERIMENTAL STUDY ON THE MAIN WATER PIPE SYSTEM INTENDED FOR DERIVING WATER / MAIN PUMP INSTALLATION, LOCATED WITHIN UNDERGROUND MINE NAMED "RUDMETAL" CORPORATION

Rumen Istalianov¹, Ilija Jochev², Ivan Prodanov³, Nikolai Minekov⁴, Ioana Mladenova¹

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

² „Rudmetal” AD, Rudozem

³ „EN EM KO» EOOD, Sofia

⁴ „Asarel-Medet” AD, Panaguriste

ABSTRACT. The publication contains results of experimental study having object the main water pipe system intended for deriving water in underground mine in exploitation.

Key words: main pump installation, underground mine, experimental study, energy efficiency

Въведение

Една от съществените особености при функционирането на водоотливните уредби е свързана с намаляване на основните работни параметри (производителност, напор, кпд) в процеса на експлоатация. Този процес на деградация на уредбата се обяснява с изключително тежките условия за експлоатация, особено при изпомпването на кисели и силно замърсени води. Независимо от това, че във водосборника скоростта на движение на водата е малка и се очаква избистряне на водата, около 40% от твърдите частици във нея се засмукват и преминават през помпите, което води до интензивното им износване. Ресурсът за машинното време на помпите в нашите подземни рудници достига до 500-700 часа, а съгласно паспортните им данни при чиста вода трябва да работят 6000 часа.

В процеса на експлоатация постепенно се намалява пропускателната способност на тръбопровода.

В резултат от сумарното въздействие на всички тези фактори се изменят работните параметри на помпата: производителност, напор и кпд, което в крайна сметка води до преразход на електроенергия за водоотлив.

Отчитайки, че влошаване на работните параметри на помпата настъпват в резултат на общите изменения в характеристиките на помпата и тръбопровода, за опре-

деляне на работната точка е необходимо контрол на минимум два параметъра: производителност и напор. Освен това, по параметрите може да се определи кпд на помпата във връзка с изменението характеристиката за кпд.

Ето защо за оценка ефективността за експлоатация на водоотливната уредба е необходимо да се измери производителността, напора, мощността и да се определи фактическия кпд по изчислителен път.

Техническа характеристика на главната водоотливна уредба на рудник "Димов дол"

Главната помпена уредба на рудник "Димов дол" е оборудвана с три броя помпи и два напорни тръбопровода. Основните технически данни на уредбата са показани в таблица 1, 2 и табл. 3

Таблица 1

№	Наименование на изходните данни	Означение	Числена стойност
1	Напор	H_r	431 m
2	Нормален денонощен приток на вода	$Q_{\text{нор.}}$	220 m ³ /h
3	Максимален приток на вода	$Q_{\text{макс.}}$	330 m ³ /h
4	Обемно тегло на рудничната вода	ρ	1020 kg/m ³
5	Работни дни в годината	T	365
6	Работни дни в годината с нормален денонощен приток на вода	T_n	330
7	Работни дни в годината с максимален денонощен приток на вода	T_m	35
8	Режим на работа в подземния рудник	3 смени	8 часа

Таблица 2

Елементи	Брой
Смукателен тръбопровод	8 m
вътрешен диаметър	388
външен диаметър	400
дебелина на стената	6
Смукателна решетка	1
Конусен преходник	1
Ъглови колена (45°)	2
Закръглени колена (90°)	2
Нагнетателен тръбопровод	461 m
вътрешен диаметър	380
външен диаметър	400
дебелина на стената	10
Спирателни кранове с електрозадвигване	2
Обратни клапани	3
Ъглови колена (45°)	2
Закръглени колена (90°)	5
Тройник (при право движение)	1
Тройник (в отклонение)	1
Конусен преходник	1

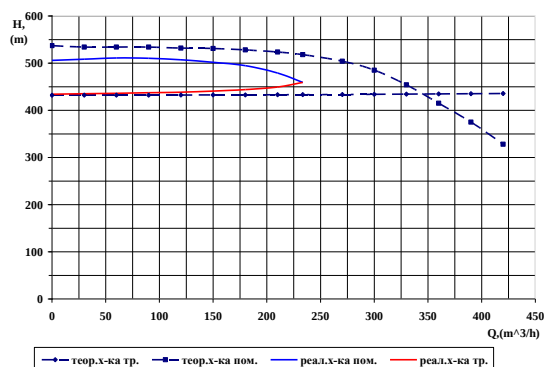
Таблица 3

Помпа, тип	ЦНС 300-480
Мощност, kW	630
Напор, m	480
Дебит, m ³ /h	300
К.п.д., %	71
Честота на въртене, n ⁻¹	1475
Двигател, тип	BAO560M4
Мощност, kW	630
Напрежение, kV	6
Фактор на мощност	0,88
К.п.д., %	95,7

Проверочни изчисления

Теоретично определяне на производителността и напора на помпата

Характеристиките на помпата и тръбопровода са са показани на фиг. 5.7 и фиг 5.8



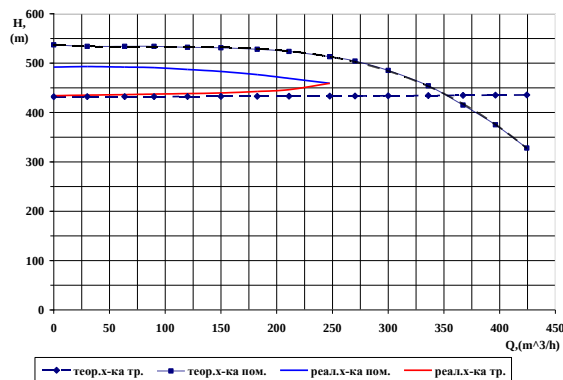
Фиг. 1 Теоретична и действителна характеристика на помпа работеща на един тръбопровод

Характеристиката на тръбопровода и помпата е показана в табл. 4.

Таблица 4

На един тръбопровод								
Q	(m ³ /h)	0	120	180	240	300	360	420
$H_{\text{тр}}$	m	432	432	433	433	434	435	437
$H_{\text{п}}$	m	507	503	492	476	454	426	393
На два тръбопровода								
$H_{\text{тр}}$	m	432	432	432	432	433	433	433
$H_{\text{п}}$	m	507	503	492	476	454	426	393

Характеристиките на помпата и тръбопровода са показани на фиг. 2



Фиг. 2 Теоретична и действителна характеристика на помпа работеща на два тръбопровода

Резултати от изследването

Измерванията на електрическите величини – ток, напрежение, активна мощност и фактор на мощност са направени с мултифункционален уред :MULTIVER 3SN.

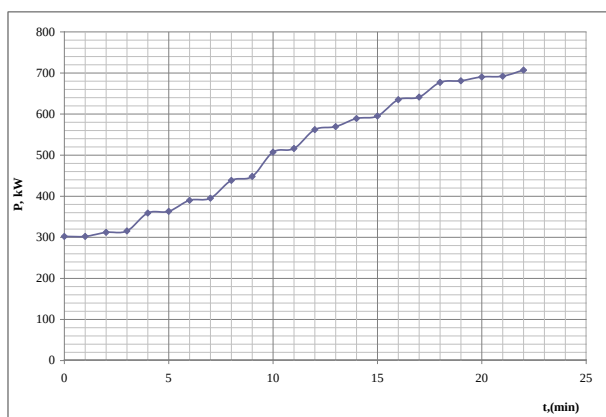
За измерване на неелектрическите величини напор, вакуум и дебит са използвани:

Манометър тип BO 1227, обхват 0-10 MPa, клас на точност - $\pm 0,3\%$

Измерванията на дебита са направени по методиката описана в [4].

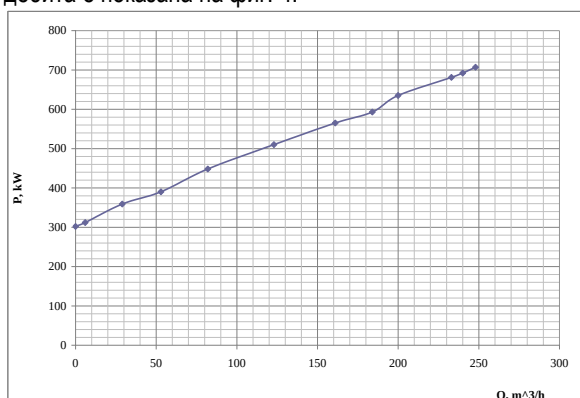
Измерванията са направени при промяна на дебита на десет степени от който 3 степени са при работа на два

тръбопровода. Изменението на мощността на двигателя през времето на измерване (около 20 мин) е показана на фиг. 3.



фиг. 3 Изменение на мощността на двигателя през време на измерването

Мощността на двигателя на помпата във функция от дебита е показана на фиг. 4.



фиг. 4. Зависимост на мощността на двигателя от производителността на помпата

Действителният напор и производителност на помпата са показани в табл. 5.

Таблица. 5.

показател	Един тръбопровод		Два тръбопровода	
	теор.	действ.	теор.	действ.
$Q_{действ.}$	343	233	348	247
$H_{действ.}, m$	435	459	433	447
$\eta_{пу.}$	0,65	0,41	0,65	0,42
$\eta_{тр.}$	0,98	0,939	0,99	0,941
$\eta_{мр}$	0,99	0,99	0,99	0,99
$\eta_{дв}$	0,95	0,95	0,95	0,95
$\eta_{на.}$	0,71	0,46	0,71	0,48
$P_{изм.}, kW$	614	681	620	707
$Q_{ден.}, m^3$	3430	3430	3430	3430
$T_{раб.ден.}, h$	10	14,7	9,86	13,8
E, kWh	6140	10010	6113	9757
$W_{действ.}^{еп}$ Wh/m^4	4,12	6,12	4,11	6,01

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

Изводи

1. Изменението на характеристиките на центробежни помпи $H=f(Q)$ и $\eta=f(Q)$ в резултат на абразивно износване в процеса на експлоатация се явяват едни от основните причини за влошаване икономическите показатели на помпените уредби. Този отрицателен резултат поставя задачата за провеждането на периодичен контрол за техническото състояние на помпените агрегати.

2. Основна част от помпените уредби, които се намират в експлоатация в минната промишленост не са обзаведени с контролно-измервателни прибори, чрез които да се осигурява информация за техническото състояние на помпените агрегати и приближаването на границата на допустимата област за икономична и ефективна работа.

3. В резултат на изпълнените измервания и получените резултати е установено, че ако се остави в експлоатация същото обзавеждане, с което са направени контролните измервания и не се замени с ново, имащо характеристики, близки до паспортните, то годишният преразход на електроенергия на този подземен рудник само за водоотлив ще бъде от порядъка на 1.5 мил.квтч.

Литература

- Исталиянов Р.Г., Повишаване енергийната ефективност на помпени уредби в минната промишленост, Дисерт. за получаване на образ. и научна степен „Доктор”, 2010 г.
- Правилник по безопасността на труда при разработване на рудни и нерудни находища по подземен начин (В-01-02-04), Д.И. „Техника”, София, 1971
- Наредба № 3 за устройството на електрическите уредби и електропроводните линии, обнародвана в ДВ, бр. 90 и 91 от 2004 г.
- Йорданов К.М., Стенд за изпитване на малки радиални (центробежни помпи), год. на ВМГИ, София, т.ХХХ, св. I, 1983-1984
- Решение № Ц-30 от 28.08.2010 г. на Държавната комисия за енергийно и водно регулиране (за утвърждаване на нови цени на електрическа енергия)
- Данаилов Д., Рационално използване на електроенергията в минните предприятия, София, Техника, 1985
- Кърцелин Е.Р. и др., Оценка на възможностите за повишаване енергийната ефективност на главни водоотливни уредби за подземни рудници, Год. на МГУ „Св. Ив. Рилски”, Том 49, св. III, 2006 г., стр. 143-148.

ПРИНЦИПИ ЗА ЗАЩИТА НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ И ТЕХНИЧЕСКИ СРЕДСТВА ЗА ТЯХНАТА РЕАЛИЗАЦИЯ

Евтим Кърцелин¹, Динко Господинов¹, Румен Исталиянов¹, Йоана Младенова¹, Николай Лаков¹

¹ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: el_emp@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Представена е сравнителна оценка на използваните принципи и на технически средства за реализация на защиты на асинхронни двигатели, обобщени са някои недостатъци на микропроцесорните защиты, обосновани са някои перспективни направления за усъвършенстване и разработване на нови видове защиты.

КЛЮЧОВИ ДУМИ : асинхронни двигатели, принципи и технически средства.

PRINCIPLES FOR PROTECTION OF ELECTRICAL MOTORS AND TECHNICAL METHODS FOR THEIR REALIZATION

Evtim Kartselin¹, Dinko Gospodinov¹, Rumen Istalianov¹, Ioana Mladenova¹, Nikolai Lakov¹

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

ABSTRACT. The publication contains comparative assessment of used principles and technical methods for achieving protection of asynchronous motors as well; some defects of micro-processor protections are summarized, and perspective directions intended to improve and elaborate new protections are motivated.

Keywords: asynchronous motors, principles and technical methods

ВЪВЕДЕНИЕ

Поради някой свой безспорни предимства асинхронният двигател е намерил днес широко приложение във всички сфери на човешката дейност. За повишаване на регулировъчните и икономическите показатели на асинхронните двигатели непрекъснато се разработват и внедряват различни видове силови преобразуватели на параметрите на захранващото напрежение: преобразуватели на честота, тиристорни регулатори на напрежение и др. Всичко това разширява и утвърждава лидерските позиции на асинхронния електродвигател в съвременните системи за електрозадвижване на различни производствени машини, механизми и процеси.

Заедно с това обаче трябва да се посочи, че асинхронният електродвигател, за разлика от други електрически машини, е твърде чувствителен към изменението на някой от основните показатели за качество на електрическата енергия (ПКЕЕ) и особено към колебанието, несиметрията, несинусоидалността и честотата на напрежението на захранващата мрежа. Например, при коефициент на несиметрия на напрежение с обратна последователност, равен на 0,05%, токът с обратна последователност достига до 0,25I_n и повече. Появата на ток с обратна последователност предизвиква увеличаване на резултатния ток и намаляване на въртящия момент на двигателя. За недопускане прегряване на намотките на двигателя е необходимо да се намали неговото натоварване.

Реалните експлоатационни условия се характеризират най-често не само с влошени ПКЕЕ, но и с влошаване на повече от един показател. Влошените ПКЕЕ оказват съществено отрицателно влияние не само на асинхронния двигател като обект на електроснабдяване и електро-механично преобразователно устройство за извършване на полезна работа, но и на апаратите за защита и автоматика.

В доклада е направена класификация и сравнителна оценка на използваните принципи и технически средства за защита на асинхронни електродвигатели, обобщени са някои недостатъци на микропроцесорните защиты, обосновани са перспективни направления за развитие на устройствата за защита на асинхронните електродвигатели.

Класификация на принципите и устройствата за защита на електродвигателите

Принципите за защита на електродвигателите от аварийни режими се определят от физическата природа на параметъра, който се измерва или контролира от датчика или от друг чувствителен елемент. По правило е прието да се контролира само един параметър, като на пример напрежение, ток в статорните намотки, температура, изолационно съпротивление на статорната намотка (или тока на утечката), и по-рядко на различни комбинации от тези параметри.

В тези устройства, който реализират принципа за защита по напрежение, чувствителният орган (фиг.1) реагира на

стойността на фазното или на линейното напрежение, на напрежението между нулевата точка на три резистора, свързани в звезда (намотките на статора), и неутралата на мрежата, напрежение с обратна последователност, а също така и на последователността на редуване на фазите.

На този принцип са реализирани едни от най-елементарните устройства за защита от прекъсването на фазов проводник на основата на минимално напрежените релета. Чувствителен орган на релето се явява електромагнитен механизъм, който играе ролята на прагов елемент. В устройствата за защита от прекъсването на фаза и недопустимо ниво на асиметрия на захранващото напрежение, чувствителен орган се явява активно-капацитивен филтър на напрежение с обратна последователност (ФНОП). Тези релета реагират и на промяна на реда на фазите.

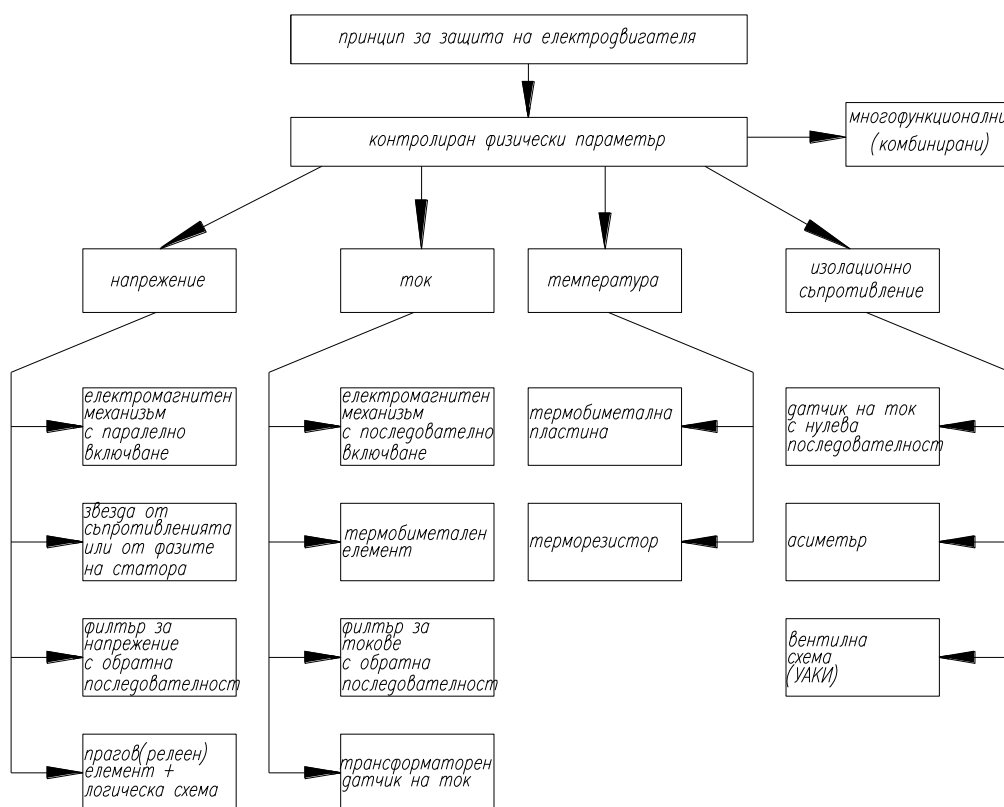
В редица комплектни устройства за управление релетата за контрол на прекъсването на фаза реагират и на големината на напрежението между нулевата точка на статорните намотки свързани в звезда и неутралния проводник.

Токовият принцип за защита се явява един от най-разпространените. Тук стойността на тока се контролира от

различни видове датчици, който се включват последователно с фазата на статорната намотка на двигателя. Защитата от прекъсване на фаза, претоварване или от земно съединение се осъществява с помощта на минимално-токово реле. Както и при релетата за напрежения, и тук чувствителен орган се явява електромагнитен механизъм. По-голямо разпространение при токовите защиты са получили трансформаторните датчици на ток, при който изходното напрежение се изменя пропорционално на входния ток. Трансформаторните датчици на ток се явяват неразделна част на фазочувствителните устройства за защита тип ФУЗ. В токовите релета за ток с обратна последователност активно-капацитивния филтър за напрежение с обратна последователност също така се включва на изхода на трансформаторен датчик на ток.

Сравнително най-просто токовата защита се реализира в устройствата за топлинна защита, която се реализира с различни конструкции топлинни токови релета. Чувствителният орган при тези защиты представлява термобиметална пластина.

При температурния принцип защитата се осъществява чрез непосредствен контрол температурата на статорните намотки с помощта на различни датчици-сонди: терморезистори, термодвойки и миниатюрни биметални пластини.



фиг.1

Непосредственото измерване на изолационното съпротивление на статорните намотки в устройствата за защита практически не се използва. За стойността на изолационното съпротивление се съди косвено, по стойността на тока на утечката. Като чувствителен орган за измерване на ток на утечката в електрическите мрежи с

глухо заземена неутрала, е възможно да се използва датчик на ток с нулева последователност, а в електрически мрежи с изолирана неутрала – с асиметър или вентилна схема [7,21].

По-голяма част от изброените вече устройства за защита се явяват еднофункционални, тъй като в тях се реализира

само един принцип за защита. Конструктивно такива устройства се явяват най-прости, с най-малка стойност и с най-висока надежност. В последно време започва серийното производство на комбинирани устройства, в които се реализират два или повече принципа за защита: за защита по напрежение и температура; за токова, температурна и защита по изолационно съпротивление; по напрежение и по ток.

Сравнителна оценка на различни видове устройства за защита

Принципът за защита асинхронни електродвигатели по напрежение, се използва широко в сравнително прости устройства, изпълняващи функциите за контрол на трифазно напрежение. На фиг.2 са представени различни структурни схеми на устройствата за защита, при които в качеството на чувствителен орган се използва напреженовото реле. Последното е възможно да бъде включено:

1. Между неутралната точка на статорните намотки, свързани в звезда и неутралата на мрежата „N“ (фиг.2а);
2. Между неутралната точка на свързани в звезда съпротивления „Z“ и неутралата на мрежата „N“ (фиг.2.б);
3. Между линейните проводници на захранващото напрежение (фиг.2.г).

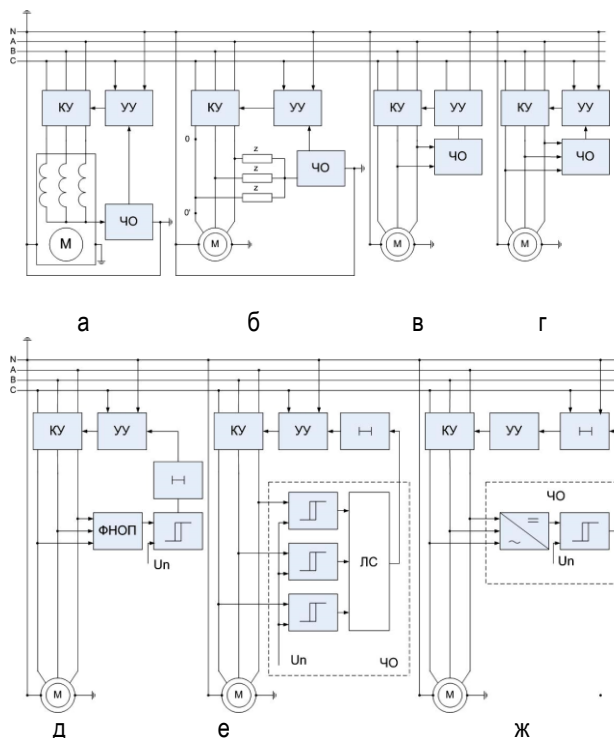
Изброените схеми позволяват да се контролира несиметрията на захранващото напрежение и прекъсването на една от фазите. Всички тези устройства притежават един и същи недостатък – работоспособността на устройствата зависи от точката на присъединяване на чувствителния орган. Например устройството на фиг.2.б реагира на прекъсване на фазите в точка „О“ и не реагира на прекъсване на същата фаза в точка „О“, тъй като при този случай звездата на съпротивленията се оказва под действието на симетричното напрежение на мрежата. Същите явления са характерни и за схемата на фиг.2.в, където напрежението се контролира от контакторното устройство за управление, включено между фазите В и С, и напреженовото реле включено между фазите А и В или от две напреженови релета, включени между фазите А - В и В-С (фиг.2.г).

По-чувствително към прекъсването на фазите се явява устройството, показано на фиг.2.а, тъй като то реагира на прекъсване във всяка точка на захранващата мрежа ниско напрежение, започвайки от вторичната намотка на трансформатора до намотката на двигателя, включвайки и последния.

По-нататъшното развитие на принципа за защита по напрежение е получил в разработването на специалните релета за контрол на трифазното напрежение. Структурните схеми на посочените релета са приведени на фиг.2.д, фиг.2.е и, фиг.2.ж.

Чувствителен орган на редица релета (фиг.2.д) се явява активно-капацитивен филтър за напрежение с обратна последователност (ФНОП) [15]. Напрежението на изхода на ФНОП се изменя пропорционално на изменението на

напрежението във всяка фаза на трифазна мрежа при неизменно напрежение в останалите фази.



Фиг.2: Структурни схеми на устройства за защита на електродвигатели по напрежение

На фиг. 2. са приети следните означения: КУ – комутационно устройство; УУ – устройство за управление, ЧО – чувствителен орган; ЛС – логическа схема

Една част от използваните днес устройствата за защита (фиг.2.д-ж), притежават многофункционалност, като контролират:

1. Прекъсване на фаза;
2. Асиметрия на захранващото напрежение с регулируемо ниво на чувствителност;
3. Последователност на редуване на фазите;
4. Симетрично понижаване на напрежението;

При наличието в схемите на блок за задръжка по време се осигурява възможност за изключване на лъжливи сработвания.

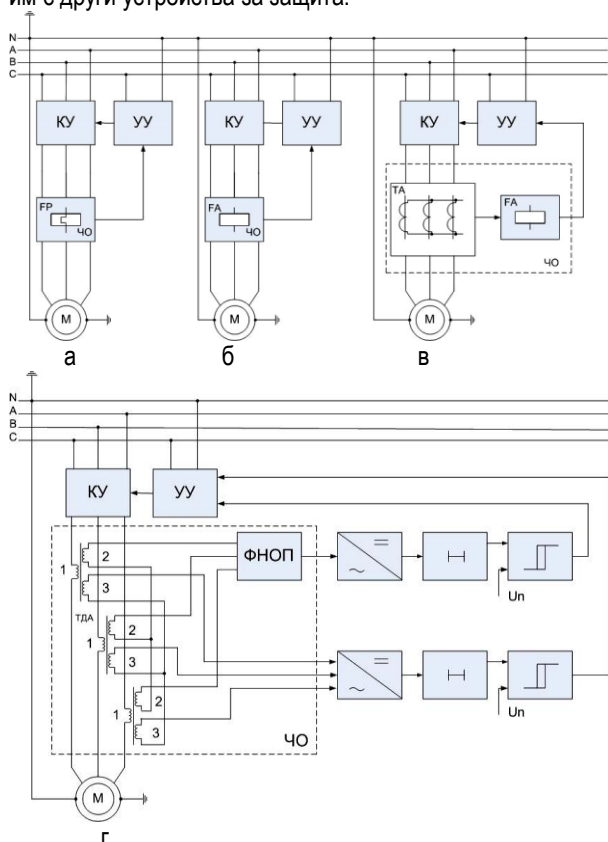
Тези устройства за защита притежават същите недостатъци, както устройствата, показани на фиг.2б-г, т.е. не реагират на прекъсването на фаза, ако прекъсването е възникнало след точката на включване на релето.

Освен това устройствата на фиг.2.а-б не реагират при прекъсване на фазата на страна високо напрежение на захранващия трансформатор. Това се обуславя от обстоятелството, че напрежението между неутралните точки на мрежата и звездата на статорната намотка или звездата на ротора е равно на нула. Устройствата на фиг.2.в-ж при този аварийен режим сработват, ако е възникнало „преобръщане на двигателя“ при условие, че роторът на двигателя се върти, посочените устройства се намират под действието на асиметрично напрежение на мрежата и на е.д.с., генерирана от двигателя. Степента на асиметрия на това

напрежение зависи от коефициента на натоварване на двигателя.

По-голяма част от електродвигателите, поради по-малък товар, при прекъсване на една от фазите не се „преобръщат“, а ще останат да работят. Степента на асиметрия на фазните напрежения не се проявява в достатъчна степен, при която е възможно сработването на вече описаните релета.

В токовите устройства за защита, показани на фиг.2, защитата контролира тока на една, на две или на всичките три фази на двигателя. Най-просто тази защита се осъществява с помощта на токови топлинни релета с биметални елементи (фиг.2.а). Топлинното реле обединява функциите на чувствителен орган, прагов елемент и на елемент за задръжка по време. В [16] се извършва подробно описание на предимствата и недостатъците на топлинните релета, методите за настройка, сравнението им с други устройства за защита.



Фиг.3: Структурни схеми на токови устройства за защита:

На фиг. 3. са приети следните означения: FP- термо биметална пластина ; FA- токово реле; ТА – токов трансформатор; ТДА – трансформаторен датчик на ток.

Защита на асинхронен двигател от претоварване, заклиняване, прекъсване на фазите, пробив на фазите към корпус, е възможно да се осъществи с помощта на токовите релета. За първите три защиты е характерна една и съща структурна схема показана на фиг.3б. Защитата от симетрични претоварвания и заклиняване на двигатели се реализира на базата на едно максимално токово реле, а защитата от прекъсване на фаза–на базата на три минималнотокови релета. Действието на защитата

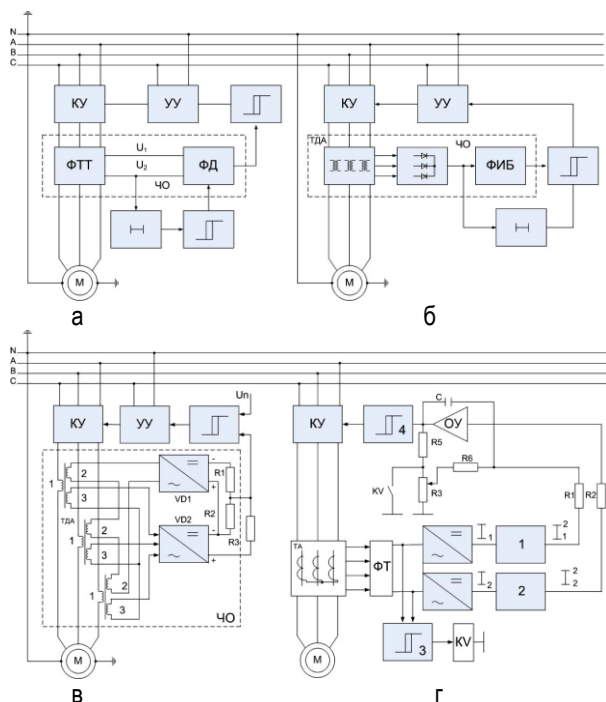
при пробив на фаза към корпус (земя) е основано на контрола на тока с нулева последователност с помощта на максималнотоково реле. В качеството на филтър за ток с нулева последователност се използват три токови трансформатора (фиг.3.в). При възникването на пробив между фаза и корпус, на изхода на токовия трансформатор ТА се появява ток с нулева последователност и релето FA сработва. Същата схема е възможно да се използва и за защита от прекъсване на фаза, ако се свърже неутралата на статорната намотка с нулевия проводник на мрежата. При симетричен режим на изхода на филтъра и в бобината на релето FA отсъства ток (ако се пренебрегнат хармониците от насищане). При прекъсването на която и да е от фазите на изхода на филтъра протича ток, релето FA се включва и със своя контакт подава команда на устройството за управление (УУ) за изключване на двигателя.

В устройствата за защита (фиг.3.б-в) токовите релета изпълняват функциите на чувствителен орган, на прагов релеен елемент и на изпълнителното устройство. Това обстоятелство затруднява повишаване надеждността на защитата чрез въвеждането на така наречения коефициент на запас срещу лъжливо сработване при кратковременни токови удари, малката номенклатура на произвежданите токови релета и необходимостта в една схема да се използват до три релета, ограничава широкото разпространение на тази защита. По-нататъшно развитие дадения принцип е получил в устройствата за защита, показани на фиг.3.г, фиг.6.а÷г, където в качеството на чувствителен елемент се използват специални ТДА (трансформаторен датчик на ток), а в качеството на релеен елемент-полупроводникови прибори.

На фиг.4.а е приведена структурната схема на фазочувствително устройство за защита тип ФУЗ [19], което се произвеждат серийно в различни модификации. Характерна особеност на ФУЗ се явява наличието на специален ФТТ, който изпълнява функцията на датчик на ток, при който напрежението на изхода е приблизително пропорционално на входния ток и функцията на преобразувател на трифазния ток в двуфазен.

На фиг.4. са приети следните означения: ФТТ- фазозавъртащ токов трансформатор; ФД-фазов детектор; ФИБ-фазоимпулсен блок; ФТ-филтър на симетрични съставлящи на ток; ОУ – операционен усилвател.

Ъгълът на фазово изместване между напреженията на двуфазната система U_1 и U_2 зависи от съотношението между броя на навивките на първичната намотка и обикновено се колебае в границите $75 \pm 90^\circ$. Такава стойност на ъгъла се използва в симетричен режим на захранване. При прекъсване на една от фазите, първичните токове в другите две останали фази винаги ще бъдат еднакви по стойност и фазово изместени на 180° , независимо от схемата на свързване на статорната намотка на двигателя. Съответно, ще се измени и фазовия ъгъл между напреженията U_1 и U_2 (фиг.4.а), при което той ще стане равен на нула или на 180° в зависимост от



Фиг.4: Структурни схемик на токови устройства за защита.

посоката на навиване и свързване на вторичната намотка на ФТТ. Устройствата от тип ФЗУ защитават асинхронния двигател от прекъсване на фаза и претоварване. Информация за фазовия ъгъл между напреженията U_1 и U_2 постъпва на входа на пръстеновиден ФД с косинусна характеристика [19], а информацията за стойността на тока – на елемента за задръжка по време. В симетричен режим на работа и при ток на двигателя, по-нисък от номиналната стойност, на изхода на ФД напрежението е приблизително равно на нула. При прекъсване на една от фазите напрежението на изхода на ФД рязко нараства и праговия елемент (междинното реле) подава команда за изключване на двигателя от мрежата. При голяма стойност на симетричното претоварване или заклиняване на ротора след определено време на закъснение сработва втория прагов елемент който шунтира едното рамо на ФД и на изхода нараства напрежението, което води до сработването на първия праговия елемент.

Близки до принципа на работа на ФУЗ се явяват устройствата за фазоимпулсна защита [16], чиято структурна схема е показана на фиг.4б. С помощта на токовите трансформаторни датчици ДТА, включени във всяка фаза, се осъществява контрол на тока на двигателя. Напрежението на вторичните намотки на ДТА се изправя и постъпва на входа на фазоимпулсен блок ФИБ и на входа на елемента за задръжка по време. По канала „Изправител – ФИБ“, се осъществява защитата от прекъсване по фаза, а по канала „Изправител – елемент за задръжка по време“ защита от претоварване и заклиняване на ротора.

При симетричен режим на работа на двигателя в изправеното напрежение присъства постоянна съставяща и хармоници, кратни на три, а при двуфазен режим на работа – постоянна съставяща и хармоници кратни на две.

Фазоимпулсните устройства за защита не реагират на прекъснатата фаза, ако това е възникнало до точката на включване на два или няколко двигателя. В този режим изправеното напрежение не съдържа хармоници, кратни на две, тъй като през всичките три фази на двигателите протича ток и постоянната съставяща на напрежението на входа на ФИБ не се изменя съществено.

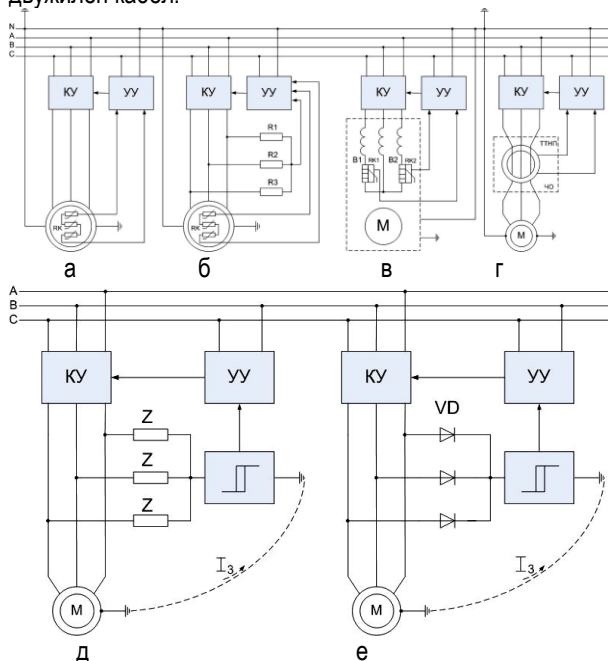
В устройствата, показани на фиг.4.в също така се реализира защита срещу прекъсване на фаза и срещу претоварване, но за разлика от ФУЗ и фазоимпулсните устройства, тук за организация на защитата от прекъсване на фаза се получава явлението насищане на магнитопровода на трансформаторните датчици на ток ТДА [16]. Като и устройствата показани на фиг.3.г, така и ТДА имат по две вторични намотки. Намотката 2 е свързана в открит триъгълник, свързан към първия изправител VD1, а намотките 3, свързани в звезда, са свързани с втория изправител VD2. Двата изправителя са включени паралелно и насрещно по отношение на резисторния делител $R_1 - R_2$. При симетричен режим на работа на двигателя, на клемите на намотката 2 на отворения триъгълник присъства напрежението на третия хармоник, генериран от трансформаторите ТДА. След изправяне това напрежение е приложено към делителя $R_1 - R_2$. Напрежението на изхода на изправителя VD2, пропорционално на тока на двигателя, е приложено към второто рамо на делителя $R_1 - R_2$ в обратна посока, и поради което напрежението на входа на праговия елемент е по-малко от U_n и той не реагира. При прекъсване на една от фазите на захранващото напрежение, третият хармоник се намалява до нула, а напрежението в средната точка на делителя $R_1 - R_2$ рязко нараства, състоянието на праговия елемент се изменя и на устройството за управление постъпва сигнал за изключване на двигателя от мрежата. Заклинването на ротора при симетричен режим предизвиква нарастване на статорния ток до неговата пускова стойност. Напрежението на изхода на изправителя VD2 нараства спрямо напрежението на изхода на изправителя VD1 в по-голяма степен, тъй като нарастването на напрежението на третия хармоник, поради насищането на магнитопровода е незначително при по нататъчно нарастване на токовете в първичните намотки на трансформаторите ТДА. Недостатък на разглеждания възел за защита се явява неговата чувствителност при малки стойности на претоварването.

Във всички разгледани токови защити реалното топлинно състояние на намотките на двигателя се моделира от тока във фазите. Ето защо такива защити следва да се отнасят към условните, тъй като в тях реални топлинни процеси се преобразуват на термични (термобиметал), електромагнитни или на електронен принцип. Идеалните устройства на токовите защити трябва да имат „време-токова“ характеристика, съпадаща с претоварващата характеристика на двигателя или да бъде незначително по-ниско от последната.

Такава защита е възможно да се разработи и създаде на основата на температурния принцип, при който топлинното състояние на двигателя се определя с помощта на температурни датчици-сонди, монтирани непосредствено в намотките на двигателя.

Най-добре тези изисквания се удовлетворяват от термисторите с положителен ТСК или от позисторите. Днес световно известни фирми произвеждат серийно позистори с различна класификационна температура $T_{кл}$, като по своите параметри съответстват на основните изисквания на МЕК [10].

В структурните схеми на температурните устройства за защита (фиг.5а-в) термисторите RK (най-често позистори) контролират температурата на статорната намотка. С цел по-точното определяне на тази температура, позисторите се монтират в челните части на всяка фаза, преди статорната намотка да бъде пропита с изолация и последващо изпичане. Всичките три позистора са свързани последователно, а информацията от тях постъпва на входа на устройството за управление УУ на двигателя по двужилен кабел.



Фиг.5: Структурни схеми на температурни устройства за защита (а,б,в) и на устройства за контрол съпротивлението на изолацията в електрически мрежи с глухо заземена неутрала (г) и в мрежи с изолирана неутрала (д,е).

УУ по същество представлява релеен блок с усилвател (полупроводников). Ако температурата на намотката на двигателя е по-висока от класификационната на позистора, настъпва рязко увеличаване съпротивлението на последния и на релейния блок се подава сигнал за изключване на двигателя.

Температурната защита надежно изключва двигателя във всички аварийни режими, които водят до нагряване намотката на двигателя. Основен недостатък на този вид защита се явява закъснението на сработване при бързо нарастване температурата на намотките, например при режим на застопорен ротор или при пускане на двигател с прекъсната фаза. Температурната защита също така не сработва при прекъсване на фаза на електродвигател, работещ с малък товар. При този режим температурата на намотките на двигателя е по-ниска от допустимата, поради което двигателя не трябва да се изключва, но същественото нарастване на вибрациите води до механичното износване на изолацията. За отстраняването

на този недостатък в редица температурни защиты е въведен резисторен асиметър R_1, R_2, R_3 (фиг.5.б), който контролира симетричността на захранващото напрежение. При прекъсване на една от фазите устройството изключва двигателя практически без задръжка по време. За да се избегне възникването на закъснение при сработването на защитата при по-големи скорости на нарастване на температурата, се предлага да се компенсира динамичната грешка. Едно схемно решение за компенсация на динамичната грешка е показано на фиг. 5.в [20]. В тази схема позисторите RK1 и RK2 посредством специални накрайници са присъединени към нагревателите B1 и B2, през които протичат фазните токове на двигателя.

Принципът за защита на асинхронни двигатели, основан на контрола стойността на изолационното съпротивление на статорната намотка на двигателя спрямо корпуса се използва както в електрически мрежи с директно заземена неутрала (фиг.5.г), така и в електрически мрежи с изолирана неутрала (фиг.5.д,е). В първия случай като чувствителен елемент се използва токов трансформатор с нулева последователност (ТНП). За първичната намотка на ТНП (фиг.5.г) се използват трите проводника на електрическата мрежа от която се захранва двигателя. Вторичната намотка е равномерно намотана върху сърцевината и се включва към изпълнителното реле на устройството за управление.

При нормално състояние на изолацията на статорната намотка на двигателя, геометричната сума на магнитните потоци, индуцирани в магнитната система на ТНП е равна на нула, следователно във вторичната намотка отсъства е.д.с. Намаляването стойността на изолационното съпротивление (независимо по каква причина) спрямо корпус, води до появата на ток на утечка който се затваря (протича) по контура: фаза-изолационно съпротивление – корпус на двигателя-нулев проводник. Токът на утечка, който се явява ток с нулева последователност, създава в сърцевината на ТНП некомпенсиран магнитен поток, който индуцира е.д.с. във вторичната намотка. Този сигнал се използва за изключване на двигателя.

В електрически мрежи с изолирана неутрала непрекъснатия контрол на изолационното съпротивление на двигателя се осъществява по схемата, представена на фиг.5.д, с използване на токове с нулева последователност, с асиметър Z или по схемата показана на фиг.5.е чрез изправяне токовете на контролираната мрежа [17].

Избиране на контролируем (информационен) параметър за организация защитата от аварийни режими на асинхронни двигатели

От анализиранияте принципи и устройства за защита на асинхронни двигатели най-голямо разпространение е получил токовия принцип [14,15,23], който на практика се реализира от топлинни релета, автомати с комбиниран механизъм за изключване, ФУЗ и други устройства за защита. Контролираният параметър в дадените устройства се явява консумираният ток на двигателя. До този принцип се нарежда температурния принцип за защита. Сравни-

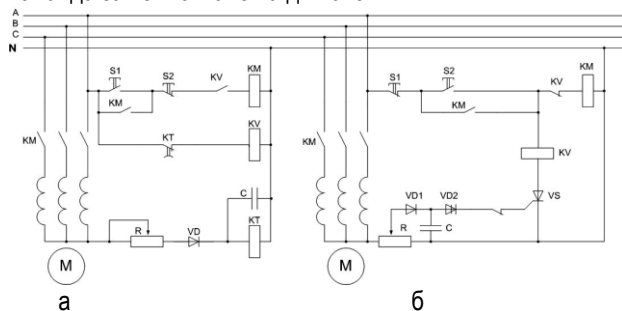
телно по-малко е разпространен принципа за защита по напрежение и съпротивлението на изолацията.

На основата на сравнителния анализ на различни устройства за защита е възможно да се твърди, че промишленото производство не произвежда универсални устройства за защита, приложими за нисковолтови асинхронни двигатели, използвани в различни отрасли на народното стопанство.

За асинхронни двигатели основно изпълнение, намиращи се по обективно определени условия за експлоатация на големи разстояния от пулта (шкафа) за управление (15m и повече), използването на температурния принцип за защита е затруднено поради необходимостта от полагането на проводници, които да свързват датчиците с релейния блок и които е необходимо да бъдат защитени от механични повреди и електромагнитни смущения.

Изброените обстоятелства определят задачата за търсене на нови пътища за усъвършенстване на принципите за защита по напрежение и ток. Това търсене на първо място следва да бъде насочено към откриването на контролируеми сигнали на напрежение, които се генерират от самия двигател. Такъв сигнал се явява напрежението между нулевата точка на статорните намотки и неутралата на мрежата. Използването на това напрежение в качеството на контролируем параметър е известно отдавна и успешно се използва в редица устройства за защита [17,21].

Като пример на фиг.6 са приведени два възела (елементи) от схемите на защитни устройства, в които се контролира напрежението с нулева последователност между нулевата точка на статорната намотка и неутралата "N" на мрежата. При прекъсване на една от фазите или при голяма асиметрия сработва релето за време „KT“ (фиг.6.а) или се отпушва динистора "VD2" и тиристора "VS" (фиг.6.б), междинното реле "KV" подава команда за изключване на двигателя.



Фиг.6: Възел от схема на защитни устройства използващи напрежение с нулева последователност

Разликата между разглежданите възли се състои в организацията за реализиране на закъснението по време с цел изключването на лъжливо сработване при несинхронно включване (затваряне) контактите на контактора "KM". Във възела на фиг.6.а тази функция изпълнява релето за време „KT“, а във възела на фиг.6.б, задържащата по време се осъществява с помощта на бутона "S2".

В публикация [16] се отбелязва, че устройството за защита по напрежение с нулева последователност (фиг.6) дава лъжливи сработвания.

Различни изследвания, включително и наши, показват, че напрежението U_0' между нулевата точка на намотките на двигателя и неутралата на мрежата в симетричен режим на захранване е действително възможно, но природата за неговото появяване следва да се приема не конструктивната асиметрия на двигателя, съгласно публикацията [16], а насищането на неговите магнитни вериги и зъбната структура на магнитопровода.

Доказва се, че за трифазен симетричен в конструктивно отношение асинхронен двигател при асиметрични захранващи напрежения между точките „O“ и „N“ винаги ще бъде налице напрежение $U_{ON} = U_0' + U_0'^2$, което се генерира от пространствените хармоници на насищане и зъбните хармоници на ротора, кратни на три.

Недостатъци на микропроцесорните защиты

Микропроцесорните устройства за релейна защита и атоматика (МПУРЗА) постепенно изместват традиционните електромеханични и електронни релейни защиты във всички области на енергетиката и електротехниката.

В рекламните проспекти и каталози на фирмите-производители на МПУРЗА (ABB, Siemens, Ametek, General Electric, Alstom и др.) винаги се представя информация за предимствата, функционалните възможности и техническите характеристики на този тип защиты и не се посочва нито един недостатък. Тази модна тенденция по наше мнение въвежда в голямо заблуждение не само проектантите, но и научни работници, специалисти от експлоатационната и надзорна дейност. В потвърждение на казаното ще се посочи, че в [2] са изброени 19 предимства на МПУРЗА и не е посочен нито един недостатък.

Опитът от широкото използване на МПУРЗА в електроенергийните системи на Западна Европа и САЩ и обобщените резултати от тяхната експлоатация позволяват реално да се направи оценки не само за предимствата на тези устройства, но да се разкрият и посочат сериозни техни недостатъци.

В този доклад се представят само част от някои недостатъци на МПУРЗА:

1. За разлика от електромеханичните релета, който имат една зависима характеристика, изразяваща зависимостта на времето на включване от стойността на тока $t=f(I)$, микропроцесорните релейни защиты имат една независима характеристика и до 11 и повече зависими характеристики. Функцията $t=f(I)$ на зависимите характеристики се описват с математически формули, които удовлетворяват:

- стандартите на международната електротехническа комисия (MEK);
- стандартите на ANSI/IEEE –използват се само от европейски производители;
- фирмени разработки.

Например, за микропроцесорно реле със зависими характеристики, изпълнено по стандарт на МЕК, зависимостта между тока и времето за сработване се представя със следната формула:

$$t = \frac{k \cdot \beta}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^{\alpha} - 1}$$

където t - време за сработване,
 k - коефициент на времето, ;
 I - текуща стойност на тока през релето, ;
 I_s - ток на който е настроено релето за сработване;
 α, β - константки които се дават в паспорта на релето от завода производител;

През етапа на проектиране и въвеждане в експлоатация на микропроцесорните релета възниква проблема за начина и метода за избиране на най-подходящата характеристика и изчисляване на настройката на защитата.

2. Микропроцесорните релейни защиты не изпълняват декларираната функция за осъществяване на пълна вътрешна самодиагностика на най-важните елементи на защитата [8]. Гарантирания от производителите вътрешен мониторинг за изправност на отделни възли и даже на част от най-важните елементи на микропроцесорните защиты в крайна сметка и по същество се оказва не повече от една реклама.

3. В предимствата на МПРУЗА се посочво и по-високата им надеждност в сравнение с електромагнитните релета, съдържащи механични подвижни елементи.

Количеството елементи на микропроцесорното реле са в стотици и даже хиляди пъти е по-голямо от количеството елементи на електромеханичното реле. А от теорията за надеждност е известна обратно пропорционалната зависимост между количеството елементи и надеждността на сложни системи [1].

4. Влияние от страна на захранващата мрежа върху функционирането на микропроцесорното реле.

В литературата са описани редица случаи на нарушаване (откази) и дори на повреди на микропроцесори от пренапрежения. Известно е например за масови откази на микропроцесорни релета за време, монтирани на атомни електроцентрали в САЩ. В информационния бюлетин, посветен на този проблем [12], се съобщава за повредите на такива релета от пренапрежения, възникнали при изключване намотките на междинни електромагнитни релета.

Както е било отбелязано, качеството на захранване на микропроцесорните устройства за защита има голямо значение. Ето защо на обектите в областта на енергетиката по правило, този тип защиты се захранват от мощни акумулаторни батерии с постоянно включени зарядни устройства или от източници за непрекъснато захранване (uninterrupted power sistem – UPS), които съществено смекчават негативното въздействие на гореизложените фактори. Освен това, изследванията на системите UPS показват [13], че при някои условия, по

заземителните вериги на микропроцесора проникват импулсни смущения и висши хармоници, от които не осигуряват защита нито системите UPS, нито филтрите. Освен това, UPS имат собствено време за превключване. Обикновено в техническата документация на производителите на UPS се посочва време за превключване в границите на 3-5 ms, но в действителност то може да се увеличава повече от 10 пъти [8].

Интересен е още един аспект на проблема: блокиране и откази в работата на собствения микропроцесор на системата UPS при аварийни режими в мрежите високо напрежение. Същото може да възникне и с автоматичните зарядни устройства, даже ако неговия собствен микропроцесор се захранва от външен спомагателен UPS. Такива нарушения нерядко възникват на практика, но анализът на техните причини засега все още никой сериозно не е изследвал [8].

5. Неадекватност на функциониране на микропроцесорните системи за релейна защита, особено на сложни (например дистанционни), при тежки аварии.

В реалните условия на експлоатация много често се наблюдава блокиране или неправилното действие на сложни микропроцесорни защиты, независимо от това, че при стендовото им изпитване в лабораторни условия при въздействие със стандартни сигнали на входа, те показват устойчива и надеждна работа. Проблемът се състои в това, че на един лабораторен стенд не е възможно да бъдат симулирани всички варианти на комбинации и възможно изкривяване на сигналите. Това е не възможно да се предвиди и при разработката на дадените микропроцесорни релета. А при експлоатацията на електромеханичните релета такива ситуации просто са изключени.

6. Възможни са ситуации, при които бързодействащите микропроцесорни защиты реагират на аварийни режими твърде забавено в сравнение с електромеханичните.

В редица енергосистеми за повишаване на надеждността паралелно на микропроцесорните системи включват и електромеханични релета. При анализа на аварийните ситуации нееднократно се открива, че електро-механичните релета сработват и изключват прекъсвача, докато в същия случай микропроцесорното реле е успяло само да отреагира (само регистрира аварийната ситуация без подаване на сигнал за изключване на прекъсвача).

7. Съществени разлики във функционирането на електро-механичните и микропроцесорните релета, обусловени от тяхното различно възприемане на висшите хармоничните съставлящи на измерваните токове и напрежения, от наситането на токовете трансформатори и от други изкривявания на синусоидалната форма на входните сигнали.

В по-голяма част от микропроцесорните релета се използват цифрови филтри за бързото разлагане на кривата на входния ток в ред на Фурие и извличане само на основния хармоник [3]. Този процес е основан на така нареченото бързо преобразуване на Фурие (Fast Fourier Transformation – FFT).

Както е показано в [4], при такъв принцип на действие не се отчитат висшите хармоници на тока (напрежението), съставлящи значителна част от общия ток (напрежение) в

преходните режими, при аварии, при включването на мощни трансформатори, и т.н. В резултат микропроцесорните релета за диференциална защита и дистанционните релета реагират на входни сигнали по друг начин в сравнение с електромеханичните. А тъй като състава на хармониците и техните амплитуди са случайни (зависят от мястото и вида на късото съединение, режима на работа на мрежата и на други фактори), то използването на филтри, базиращи се FFT, се оказва недостатъчно ефективно.

8.Значителни усложнения при експлоатация на микропроцесорните релейни защиты.

Очевидно е, че за проверката и настройката на микропроцесорни защиты с помощта на компютър (или дори и без него) изисква високо ниво на подготовка на специалистите и голяма загуба на време. А що се касае до въпроса и задачата за търсенето на повреди и ремонт на такива устройства, то почти е невъзможно в експлоатационни условия.

9. Наличие на информационен излишък при микропроцесорните релейни защиты

При много от релета се предвиждат прекомерно много и с нищо неоправдани настройки. Тези "екстри" само усложняват и без това непростата процедура по тяхната настройка. Особено това се отнася за микропроцесорните релета със сложни функции (в частност, дистанционни) със стотици настройки.

10. Несъвместимост на микропроцесорните релета по някои особено важни параметри с мощно електроенергийно обзавеждане.

Обикновено в качеството на изходни изпълнителни елементи на микропроцесорните устройства за защита се използват миниатюрни електромагнитни релета или на оптронни полупроводникови, и дори на хибридни релета. Резултатите от проведените изследвания [6, 7] показват, че често стойността на техните параметри не съответстват на заявените (и задължително – в съответствие с изискванията на международните стандарти) стойностите на параметрите на микропроцесорното реле, в частта на удовлетворяване и издържане на изпитвателните напрежения и комутационни токове.

11. Възможност за преднамерени дистанционни въздействия на микропроцесорната релейна защита с цел нарушаване на нейната нормална работа [7, 8].

Въпросът за "електромагнитният тероризъм", способен да предизвика техногенни аварии и катастрофи с изключително огромни поражения и последици за една страна, включително с трансгранично влияние са формулирани в статията на Мануел Вика [9], където в частност, се отбелязва, че електронните елементи и компоненти, като микропроцесори, работещи на високи честоти, при ниско ниво на напреженията, са особено чувствителни към въздействието на външни преднамерени електромагнитни излъчвания.

Изводи

1. С разработването на нови силови преобразователни устройства специално за асинхронни двигатели (преобразователи на честота, тиристорни регулатори на напрежение и др.) при изключително ниска цена лидерските позиции на асинхронните двигатели се запазват и разширяват и през XXI век.
2. Науката и промишленото производство не осигуряват производството на универсални защитни устройства, приложими за защита на асинхронни двигатели, използвани в различни отрасли на промишленото производство и комунално-битовото обслужване.
3. Резултатите от многогодишната експлоатация на микропроцесорните релейни защиты в областта на електроенергетиката и електрониката показват редица недостатъци и нерешени проблеми.
4. Електромагнитната съвместимост на електро-обзавеждането, използвано в електроенергетиката ще бъде един от актуалните проблеми и задачи за изследване и решаване от научно-изследователските колективи през XXI век.
5. Разработването и внедряването на принципно нови защитни устройства за защита на асинхронни двигатели се явява актуална задача.

Литература

- Кърцелин Е., Количествена оценка за качеството на апаратите за защита на руднични подземни уредби, Науч. техн. конф. с межд. участие „Автоматика и информатика, 97“, България-София, сб. доклади, том 5, 1997, стр.91-94.
- Богданов Д.Х., Надежност на релейните защиты в АЕЦ, автореферат на дисерт. за получ. на образ. и научна степен „доктор“, 2009.
- Zocholl S.E., Benmouyal G. How microprocessor relays respond to harmonics, saturation and other wave distortion, Neta world, 2003, Summer.
- Nenel O.O., Onbilgin G., Kocaman C., Transformer protection using the wavelet transform, Turkish journal of electrical engineering&computer sciences, 2005, vol. 13, №1.
- Horak J., Pitfalls and benefits of commissioning numerical relays, Neta world, 2003, Summer.
- Gurevich V., Nonconformance in electromechanical output relays of microprocessor-based protection devices under actual operating conditions, Electrical engineering&electromechanics, 2006, №1.
- Gurevich V., The hazards of electromagnetic terrorism, Public utilities fortnightly, 2005, June.
- Gurevich V., Electrical relays: principles and applications., CRS press, USA, 2005.
- Wik M W., Electromagnetic terrorism – What are the risk? What can be done?, International product compliance magazine, 1997.
- IEEE C 37.90-1989. Relays and relays system associated with electric power apparatus.
- IEC 60947-4-1., Low-voltage switchgear and controlgear. , Part 4: Contactors and motor-starters. Section 1: electromechanical contactors and motor-starters.

Information notice № 90-20: Common-Cause Failures Due to Inadequate Design Control and Dedication – Nuclear Regulatory Commission, March 17, 1996.
The power protection handbook, APS, 1994.
Сиромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей, М., Энергоатомиздат, 1984, 240 с.
Федосеев А.М., Релейная защита электрических систем, М., Энергия, 1976, 560 с.
Мусин А.М., Аварийные режимы асинхронных электродвигателей и способы их защиты, М., Колос, 1979, 112 с.
Цапенко Е.Ф., Контроль изоляций в сетях до 1000 в., М., Энергия, 1972.

Sepam Merlin Gerin, Каталог 2003.
Корогодский В.И. и др., Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1 кв, М., Энергоатомиздат, 1987.
Тубис Я.Р., Температурная защита асинхронных двигателей, М., Энергия, 1977.
Ментешев М.С., Безопасно използване на електрическата енергия и контрол на изолацията в рудничните мрежи за ниско напрежение, Дисертация за получ. на научната степен „доктор на техн.науки”, ВМГИ, С., Техника, 1984.
Писарев А., Марков М., Сарафов В., Пускови апарати и защита на асинхронни електродвигатели, С., Техника, 1980.

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

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА АВТОМАТИЧНО СТАБИЛИЗИРАНЕ НА НАПРЕЖЕНИЕТО НА ИЗХОДА НА ТРАНСФОРМАТОР С ПОДВИЖЕН МАГНИТЕН ШУНТ

Андрей Козаров¹, Тодор Върбев¹

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

РЕЗЮМЕ. В статията е разгледана една идея за регулиране на изходното напрежение на еднофазен трансформатор с магнитен шунт.

POSSIBILITIES FOR AUTOMATIC STABILIZING OF THE TENSION OF THE EXIT OF A TRANSFORMER WITH A MOBILE MAGNETIC BYPASS

Andrey Kozarov¹, Todor Varbev¹

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

ABSTRACT: The article examines the idea to regulate the output voltage of single phase transformer with magnetic by-pass /shunt/.

Изследва се възможността да се стабилизира автоматично изходящото напрежение на еднофазен трансформатор по механичен път. За целта се използва подвижен магнитен шунт. Дължината на въздушната междина към основния магнитопровод се изменя под въздействието на две противоположни сили, електромагнитни на привличане и еластична създадена от пружина.

Такова устройство може да се приложи в случаите, при които използването на електроника повишава риска от авария, например при апаратура, която работи във взривоопасна среда.

Обект на анализ е електромагнитна система, разгледана в [1] и [2]. Тази система в опростен вид е показана на фиг. 1

Нека U_{1min} е минималната стойност на първичното напрежение, за която стабилизаторът все още осигурява номинално напрежение на вторичната намотка U_{2n} . Тогава стойностите на магнитните потоци, показани на фигурата са:

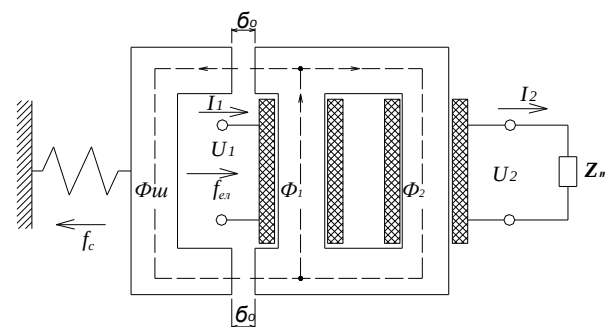
$$\Phi_2 = \Phi_{2nom}; \Phi_1 = \Phi_{1min}; \Phi_w = \Phi_{1min}$$

Следващите изчисления се правят с приближение, при което се допускат някои опростяващи предположения:

- Пренебрегват се потоците на разсейване и всички активни загуби в системата, както и магнитните съпротивления на феромагнитните магнитопроводи;
- Проводимостта на магнитния шунт се приема приблизително, че се определя от формулата:

$$\sigma_{mw} = \frac{\mu_0 S}{2\delta_0},$$

където $S=const.$ е средно сечение на магнитния поток Φ_w през въздушната междина.



Фиг.1

Нека първичното напрежение U_1 получи някакво нарастване ΔU_1 . Това увеличава потока Φ_1 с $\Delta \Phi_1$ и съгласно направените опростяващи предположения

$$\Delta \Phi_1 = \frac{\Delta U_1}{W_1 \omega}, \text{ където } W_1 \text{ е броят на навивките в}$$

първичната намотка. За да остане вторичния поток Φ_{2nom} непроменен е необходимо цялото нарастване на потока Φ_1 да се отклони през шунта, т.е. $\Delta \Phi_w = \Delta \Phi_1$. Това може да стане само ако разстоянието δ се намали, т.е. магнитния шунт се привлече на известно разстояние x към магнитопровода. При това са в сила следните зависимости:

Преди нарастване на напрежението U_1 :

$$f_{em min} = k \Phi_w^2 = f_{co},$$

където k е константа, която зависи от сечението на потока на привличане, $f_{em\ min}$ е средната стойност механичната сила на привличане, а f_{co} е стойност, с която пружинката действа върху шунта при отстоянието му до магнитопровода δ .

При нарастване на напрежението с ΔU_1 , стойността на потока Φ_1 е

$$\Phi_1 = \Phi_{1min} + \frac{\Delta U_1}{W_1 \omega}$$

Това нарастване на потока трябва да премине изцяло през шунта, т.е.:

$$\Phi_w = \Phi_{w\ min} + \frac{\Delta U}{W \omega}$$

За да се изпълни това условие е необходимо шунтът да се премести към магнитопровода на някакво разстояние x , така че общата въздушна междина по пътя на Φ_w да стане $2\delta(x) = 2(\delta_0 - x)$. Големината на това преместване x трябва да има стойност определена от равенството:

$$\frac{U_{1min} + \Delta U_1}{U_{1min}} \cdot \frac{\mu_0 \frac{S}{2(\delta_0 - x)}}{\mu_0 \frac{S}{2\delta_0}} - \Phi_{w\ min} = \frac{\Delta U_1}{W_1 \omega}$$

или

$$x = \delta_0 \left[1 - \frac{\Phi_{w\ min} \left(1 + \frac{\Delta U_1}{U_{1min}} \right)}{\Phi_{w\ min} + \frac{\Delta U_1}{W_1 \omega}} \right] \quad [1]$$

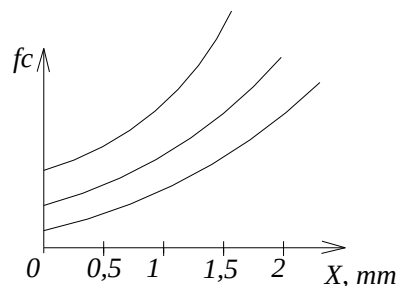
Преместването x , определено по горната формула създава през шунта необходимия поток,

$$\Phi_{w\ min} + \frac{\Delta U_1}{W_1 \omega}$$

За да бъде шунта в равновесие е необходимо създадената от пружината противодействаща сила да е равна и противоположна на електромагнитната.

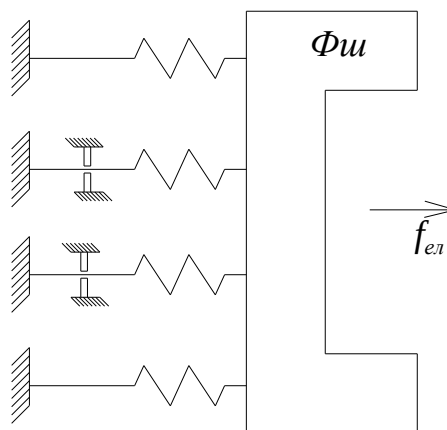
$$f_c = k \left(\Phi_{min} + \frac{\Delta U_1}{W_1 \omega} \right)^2 \quad [2]$$

Формулите 1 и 2 изразяват зависимостта $f_c = F(x)$ в параметричен вид при параметъра ΔU_1 . На фиг.2 са показани криви на тази зависимост за конкретни случаи.



Фиг.2

Вижда се, че подобни зависимости не може да се реализират с една еластична връзка, която създава линейна зависимост. На фиг.3 е показана възможност за апроксимиране на необходимата крива с реална, представляваща два линейни участъка с различен наклон.



Фиг.3

По този начин може да се постигне приблизително стабилизиране, което да осигури работата на консуматора в рамките на стандартните $\pm 5\%$ /за освет. уредби $\pm 2\%$ /, при значително по-големи отклонения на захранващото напрежение.

Идеята на показаната възможност е при малки стойности на x , съпротивителната сила да се създава от две паралелно свързани пружини, а при нарастване на x съпротивителната сила да се създава от четири пружини.

В заключение може да се каже, че в съвременните рудници се използват голям брой маломощни консуматори, които работят с по-ниско напрежение в сравнение с номиналното напрежение на мрежата ниско напрежение, $U_H = 380/660\text{ V}$.

Следователно всеки един от тези консуматори е свързан към електроснабдителната мрежа с понижаващ трансформатор. Включването и изключването на тези консуматори се извършва с контактен прекъсвач, който при наличие на взривоопасна атмосфера трябва да бъде във взривоопасно изпълнение. Подаваното напрежение към тези консуматори може да варира в широки граници, в зависимост от мястото на присъединяване към захранващата мрежа на понижаващия трансформатор и режима на други консуматори захранвани от нея. В някои случаи

отклонението от номиналното напрежение може да надхвърли допустимите норми, което може да има следните отрицателни последици:

- понижаване ефективността /въздействието/ на защитите;
- води до намаляване на въртящия момент и прегряване на електродвигателите;
- при осветителните тела, понижаването на захранващото напрежение води до намаляване на светлинния поток, което влошава работните условия. Повишеното напрежение рязко снижава живота на осветителните тела, особено на лампите с нажежена жичка.
- При лампите с нажежена жичка контактното /мигновено/ подаване на захранващото напрежение е свързано

със значителен токов удар (до 10 пъти I_n), което също съкращава живота на лампата.

Литература

Козаров А.С,Т.А.Върбев,Възможност за подобряване на захранването на осветителния товар в подземните рудници,Минно дело и геология,бр.8,2004г.

Върбев Т.А.,Възможност за използване на трансформатор с магнитен шунт като максималнотокова защита, Год. МГУ "Св.Ив.Рилски", том 51,св.III, стр.117-119.

Кърцелин Е. И др.,Електроснабдяване на подземни рудници за механизирани добиви на въглища . Год.на МГУ "Св.Ив.Рилски",том 46,св.III,с.139-144,София.

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

ЗАХРАНВАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ КОНСУМАТОРИ В "МИНИ МАРИЦА ИЗТОК" ЕАД С ПОДВИЖНА ПОДСТАНЦИЯ

Тодор Върбев¹, Даниел Манолов²

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

² Мину" Открит възледобив", г. Перник

РЕЗЮМЕ В статията се разглежда възможността за използване на подвижни трансформаторни подстанции за захранване на отдалечени мощни минни консуматори с цел намаляване загубите на напрежение в мрежата и подобряване на пусковия процес.

SUPPLY OF ELECTRIC CONSUMERS IN THE "MINI MARITSA IZTOK " EAD WITH A MOBILE SUBSTATION

Todor Varbev¹, Daniel Manolov²

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

² Open pit mining of coal "Pernik

ABSTRACT: The article examines the use of a mobile transformer substations to supply remote mining powerful consumers in order to reduce losses of the voltage and improving the starting process.

Основните схеми за захранване на електрическите консуматори в откритите рудници с електрическа енергия са надлъжни (по дължината на отделните хоризонти на рудниците) и напречни (напречно на хоризонтите в рудниците). Възможна е и комбинация между тези две схеми. В "Мини Марица-изток" за захранването на електрическите консуматори се използва надлъжна схема. Електрическите мрежи изградени за захранване на консуматорите в мините на комплекса "Марица-изток" са комбинирани. Състоят се от въздушни линии изпълнени с проводник тип АС (АСО) излизащи от стационарни подстанции и кабелни линии изпълнени с шлангови кабели различни типове изпълнени с медни проводници. Въздушните линии са стационарни и стигат до борда на рудника, след което преминават в подвижни кабелни линии. Електрическите консуматори в комплекса "Марица-изток" се характеризират с голяма единична мощност, като най-често използваните консуматори са показани в Таблица 1, с номинално захранващо напрежение 6 kV. Малка част от тях, най-често насипообразуватели се захранват с напрежение 20 kV.

С напредване на минните работи се увеличава разстоянието между стационарните подстанции в мините и електрическите консуматори. Увеличават се загубите на напрежение в електрическата мрежа и се затруднява пускането на посочените в таблицата електрически консуматори.

Един от вариантите за решаване на проблема е използване на известната схема на електроснабдяване

"дълбок въвод". При тази схема се доставя електрическа енергия близо до консуматорите с по-високо преносно напрежение, след което то се преобразува до стойности съответстващи на захранващото им напрежение. За целта е необходимо да се проектира и построи подвижна трансформаторна подстанция за напрежение 20/6 kV.

Необходимата мощност на трансформаторът на тази подстанция можем да определим по методиката описана в [1,2,3] като използваме коефициента на търсене K_T за определяне на изчислителните електрически товари на отделните групи консуматори.

Мощността на отделните консуматори определяме по формулата

$$S = \frac{K_T \cdot P}{\eta_{\text{дв.ср}} \cdot \cos \varphi_{\text{ср}}}, \text{KVA}, \quad (1)$$

където: S е очакваната пълна максимална мощност черпена от даден консуматор;

$\eta_{\text{дв.ср}}$ - средна стойност на коефициента на полезно действие на електрическите двигатели на консуматора;

$\cos \varphi_{\text{ср}}$ - средна стойност на фактора на мощност на електрическите двигатели на консуматора

K_T - коефициент на търсене за отделните видове консуматори.

Коефициентът на търсене K_T , средната стойност на $\eta_{\text{дв.ср.}}$ и фактора на мощността $\cos \varphi_{\text{ср}}$ за отделните консуматори имат следните стойности [1,2,3,]:

- за роторни багери (р.б.);

$$K_{T \text{ р.б.}} = 0,3 \div 0,4, \quad \cos \varphi_{\text{ср}} = 0,7 \div 0,8,$$

$$\eta_{\text{дв.ср.}} = 0,9$$

- за гуменолентови транспортёри (г.л.т.);

$$K_{T \text{ г.л.т.}} = 0,75,$$

$$\cos \varphi_{\text{ср}} = 0,6 \div 0,7, \quad \eta_{\text{дв.ср.}} = 0,9$$

Получените данни за електрическите товари са посочени в Таблица 1

Таблица 1

Параметри	Тип на машината	Инсталирана мощност, kW	Мощност на двиг. на рот. колело, kW	Изчислителен електрически товар, KVA	Максимален ток, A	U _н , kV
Място на работа						
Роторни багери						
въглища	SehRS1200	2000	1x400	1111,1	106,92	6
въглища	SR _s 470	930	1x400	516,67	49,72	6
въглища	SR _s 1301	2640	1x500	1466,67	141,13	6
въглища	SR _s 2000	2000	2x500	1944,4	187,11	6
Кофововерижни багери						
въглища	ER _s 710	900	1x450	923,1	88,8	6
Насипообразуватели						
откривка	A ₂ R _s B6300	2600		2111	203,15	6
откривка	A ₂ R _s B6300	5000		4060	117,21	20
ГЛТ						
откривка	2250 mm	4000	4x1000	5128,2	493,5	6
откривка	1600 mm	1680	3x500	2153,8	207,26	6

Технологична линия с най-мощните електрически консуматори използвани в комплекса "Марица изток" е монтирана в рудник "Трояново-3". Тя е изпълнена с ГЛТ-225 и роторни багери тип RS-2000. За захранването на част от нея с електрическа енергия необходимата мощност на първичната страна на силовия трансформатор на подвижната подстанция може да бъде определена по приблизителната формула [2]

$$S_{1mp} \approx \sqrt{(S_2 0,02)^2 + (S_2 0,1)^2} + S_2, \text{ KVA}, (2)$$

където $S_{2 \text{ mp}}$ е необходимата мощност на вторичната страна на подвижната трансформаторна подстанция. Тя се определя от формулата,

$$S_{2 \text{ mp}} = K_{\text{с.м}} \left[\sum_{i=1}^n S + \sqrt{\Delta p_e^2 + \Delta q_e^2} \right], \text{ KVA}, (3)$$

в която с $K_{\text{с.м}}$ е отчетен коефициентът на съвпадане на максимумите. Той се изменя в границите от 0,7÷0,85 за открити рудници с конвейрен извоз и многокофови багери [4].

По надолу за по-голяма яснота изложението ще бъде съпътствано с пример:

- за насипообразователи (н.о.);

$$K_{T \text{ н.о.}} = 0,45 \div 0,5, \quad \cos \varphi_{\text{ср}} = 0,7 \div 0,8,$$

$$\eta_{\text{дв.ср.}} = 0,9$$

- за врижжни многокофови багери (в.б.);

$$K_{T \text{ в.б.}} = 0,55 \div 0,65, \quad \cos \varphi_{\text{ср}} = 0,7 \div 0,8,$$

$$\eta_{\text{дв.ср.}} = 0,9$$

1. Определяне на необходимата мощност на трансформатора на подвижната подстанция.

Изчислителната мощност на една задвижваща станция на ГЛТ-225 е определена в Таблица 1 и е $S_{\text{изч}} = 5128,2 \text{ KVA}$. Технологично на забой за отривка с дължина 2,5÷3 km се монтират между две и три такива задвижващи станции. Мощността на група консуматори $S_{\text{ср}}$ съставена от две такива станции е

$$S_{\text{ср}} = 2 \cdot S_{\text{изч}} = 10256,4 \text{ KVA},$$

а необходимата мощност на вторичната страна на подвижната подстанцията ще определим по формула (3). Загубите на мощност Δp_e и Δq_e в електропроводните линии са неизвестни, затова ще приемем, че те са 5% от мощността на групата и ще ги отчетем с коефициента на полезно действие на мрежата на ниската страна $\eta_{\text{мп2}} = 0,95$. Тогава за $S_{2 \text{ mp}}$ получаваме,

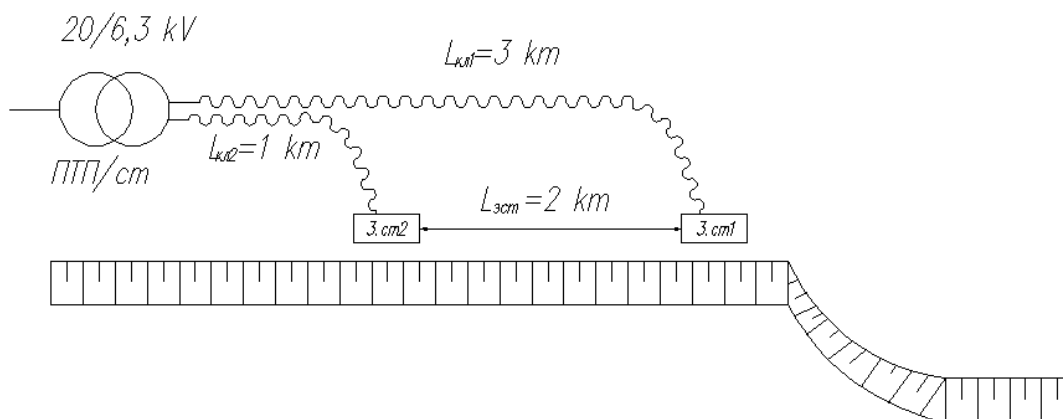
$$S_{2 \text{ mp}} = K_{\text{с.м}} \left[\sum_{i=1}^n S_{\text{ср}} / \eta_{\text{мп2}} \right] = 0,85 \left[\frac{10256,4}{0,95} \right] = 9176,8 \text{ KVA}$$

След заместване на $S_{2\text{ mp}}$ във формула 2 за необходимата мощност на първичната страна на силовият трансформатор $S_{1\text{ mp}}$ получаваме,

$$S_{1\text{ mp}} \approx \sqrt{(S_2 0,02)^2 + (S_2 0,1)^2} + S_2 = \sqrt{9176,8 \cdot 0,02 + 9176,8 \cdot 0,01} + 9176,8 = 9209,98 \text{ KVA}$$

Следователно за захранването на две задвижващи подстанции на ГЛТ-225 може да се използва трансформатор с номинална мощност $S_n = 10000 \text{ KVA}$.

2. Определяне на сеченията на кабелите захранващи електрическите консуматори.



Фиг. 1

Кабелите се избират по допустимо токово натоварване $I_{\text{дон}}$, при спазване на неравенството,

$$I_{\text{дон}} \geq I_{\text{макс.раб}},$$

където $I_{\text{макс.раб}}$ е максималния работен ток на електрическите консуматори. За задвижващите станции на ГЛТ-225, той е посочен в Таблица 1, $I_{\text{макс.раб}} = 493,5 \text{ A}$. От справочника на „ФИЛКАБ“, кабел със сечение $S = 185 \text{ mm}^2$ и $I_{\text{дон}} = 535 \text{ A}$ удовлетворява това неравенство.

3. Определяне на загубата на напрежение в кабелните линии

Съгласно [6] за откритите рудници се допуска загубата на напрежение в мрежата да достигне до 10% U_n в нормален режим на работа. Следователно най-ниската стойност на напрежението на клемите на двигателя е

$$\Delta U_{\text{двиг. min}} = U_n - 10\% U_n = 6 - 0,6 = 5,4, \text{ kV}$$

Избраните сечения на захранващите кабели трябва да удовлетворяват и изискването за допустима загуба на напрежение, $\Delta U_{\text{дон}}$.

След избора на силов трансформатор, можем да разгледаме една реална мрежа за захранване на посочените по-горе електрически консуматори и да определим загубите на напрежение в нея при различните им режими на работа

На фиг. 1 е показана една реална схема за захранване на електрически консуматори в рудниците на мини „Марица-изток“ АД с подвижна трансформаторна подстанция. С $L_{\text{кл1}}$ и $L_{\text{кл2}}$ са означени реалните дължини на кабелните линии захранващи две задвижващи станции [3С], на ГЛТ-225 с номинална мощност на всяка една от тях $P_H = 4 \times 1000 \text{ kW}$. Задвижващите станции се захранват с медни гъвкави шлангови кабели положени на открито по борда на рудника.

$$\Delta U_{\text{дон}} = U_{n2\text{ mp}} - U_{\text{двиг. min}},$$

където $U_{n2\text{ mp}}$ е номиналното напрежение на вторичната страна трансформатора;

При работа на трансформатора на минусови клеми – 5%, то неговото напрежение $U_{n2\text{ mp}}$ ще бъде равно на 6,3 kV. Тогава общата допустима загуба на напрежение $\Delta U_{\text{дон}}$ в кабелите при нормален режим може да достигне стойност

$$\Delta U_{\text{дон}} = 6,3 - 5,4 = 0,9, \text{ kV}.$$

Загубата на напрежение в кабелните линии $\Delta U_{\text{кл}}$ може да определим от формулата [2],

$$\Delta U_{\text{кл}} = \frac{X_o \sum Q_k I_k}{U_n} + \frac{r_o \sum P_k I_k}{U_n}, \text{ V},$$

където: P_k и Q_k са пренасяните активни и реактивни мощности през линията, kW и kVar;

I_k дължината на линията, km;

X_o и r_o са действителните стойности на индуктивното и активно съпротивление на линията,

Ω / km . За избраното сечение $x_o = 0,1068 \Omega / km$ и $r_o = 0,102 \Omega / km$. [8]

За получения изчислителен товар посочен в Таблица 1 и схемата показана на фиг. 1 за $\Delta U_{кл}$ получаваме,

$$\Delta U_{кл} = \frac{0,102.3333,33.3}{6} + \frac{0,1068.3897,06.3}{6}$$

$$= 360,1 V$$

$$\text{в } \% \Delta U_{кл} \% = \frac{\Delta U_{кл}}{U_n} \cdot 100 = 5\%.$$

Следователно $\Delta U_{кл}$ е по-малка от допустимата обща загуба на напрежения - $\Delta U_{дон} \% = 15\%$.

4. Определяне на загубата на напрежение в кабелната линия и захранващия трансформатор при пускане на ГЛТ-225 с номинална мощност на двигателите $4 \times 1000 kW$.

Направени са измервания за установяване на пусковия ток на двигателите на задвижващата станция на ГЛТ-225. Те са с навит ротор и процеса на пускане се управлява чрез пускови съпротивления /воден реостат/. Измереният пусков ток I_n на един двигател е $250 A$. За четирите двигателя общият пусков ток е $I_{н.общ} = 1000 A$.

Загубата на напрежение в кабелната линия при пускане определяме по формулата,

$$\Delta U_{кл} = \sqrt{3} \cdot I_n (x_o \sin \varphi_n + r_{o_n} \cos \varphi_n) l, V,$$

където $\cos \varphi_n = 0,5$ [3].

В случая за $3Cm.1$,

$$\Delta U_{кл.1} = \sqrt{3} \cdot 1000 (0,1068 \cdot 0,866 + 0,102 \cdot 0,5) l \text{ в } \%$$

$$= 745,57 V$$

$$\Delta U_{кл} \% = \frac{\Delta U_{кл}}{U_n} \cdot 100 = \frac{745,57}{6300} \cdot 100 = 11,83\%.$$

Загубата на напрежение в трансформатора $\Delta U_{mp} \%$ определяме по формулата:

$$\Delta U_{mp} \% = \beta (\Delta U_a \% \cos \varphi_2 + \Delta U_r \% \sin \varphi_2), \%$$

където β е коефициент на натоварване на трансформатора;

$\Delta U_a \%$ - относителната активна загуба на напрежение в трансформатора;

$\Delta U_r \%$ - относителната реактивна загуба на напрежение в трансформатора, %;

$\cos \varphi_2$ и $\sin \varphi_2$ се отнасят за вторичната страна на трансформатора.

β се определя по формулите,

$$\beta = \frac{S_{\partial}}{S_{н.мп}} = \frac{I_{\partial}}{I_{н.мп}},$$

където $S_{\partial}, S_{н.мп}, I_{\partial}$ и $I_{н.мп}$ са действителните стойности на мощността и тока през трансформатора.

Активната и реактивната загуба на напрежение в %, $\Delta U_a \%$ и $\Delta U_r \%$ можем да определим по формулите:

$$\Delta U_a \% = \frac{P_{\kappa} \cdot 100}{1000 \cdot S_{н.мп}}, \%$$

$$\Delta U_r \% = \sqrt{U_{\kappa} \%^2 - \Delta U_a \%^2}, \%$$

където ΔP_{κ} е загубата на мощност в намотките на трансформатора, W;

$\Delta U_{\kappa} \%$ - напрежението на късо съединение, %.

За конкретния трансформатор който има следните технически параметри:

$$U_n = 6 kV;$$

$$S_n = 10000, KVA;$$

$$\Delta U_{\kappa} \% = 6,5\%$$

$$I_o = 3\%;$$

$$\Delta P_o = 28000 W;$$

$$\Delta P_{\kappa} = 83000 W.$$

Стойностите на $\Delta U_a \%$ и $\Delta U_r \%$ са:

$$\Delta U_a \% = \frac{83000}{1000 \cdot 10000} = 0,083\%;$$

$$\Delta U_r \% = \sqrt{6,5\% - 0,083^2} = 6,499\%.$$

От получените стойности за $\Delta U_a \%$ и $\Delta U_r \%$ можем да определим загубата на напрежение в трансформатора при номинален товар $\Delta U_{мп.н} \%$.

$$\Delta U_{мп.н} \% = \frac{S_{\partial.мп}}{S_{н.мп}} (0,083\% \cdot 0,7 + 6,499 \cdot 0,714)$$

$$= 4,698\%$$

В абсолютни единици

$$\Delta U_{мп} = \frac{4,698\% \cdot U_n}{100} = \frac{5,184\% \cdot 6300}{100}$$

$$= 295,97, V$$

В трансформатора загубата на напрежение при пускане определяме по формулата,

$$\Delta U_{тр.н} \% = \frac{I_n + I_{\text{макс.раб.}}}{I_{н.тр.}} \cdot (0,083\% \cdot 0,5 + 6,499\% \cdot 0,866)$$

$$= \frac{1000 + 493,5}{962,28} (5,67\%) = 8,8\%$$

В абсолютни единици

$$\Delta U_{тр.н} = \frac{8,8 U_n}{100} = \frac{8,8 \cdot 6300}{100} = 554,37 \text{ V}$$

Следователно при пускане загубата на напрежение в трансформатора спрямо номиналния режим се е увеличила с,

$$\Delta U_{тр} = \Delta U_{тр.н} - \Delta U_{тр.н} = 554,37 - 295,97 = 258,4 \text{ V}$$

Общата загуба на напрежение при пускане до най-отдалеченият консуматор показан на фиг. 1 е:

$$\Delta U = \Delta U_{тр} + \Delta U_{кл.1} = 258,4 + 745,57 = 1003,97 \text{ V}$$

Напрежението на клемите на двигателя ще бъде,

$$U_{\text{дв}} = 6300 - 1003,97 = 5296,03 \text{ V}$$

5. Определяне напрежението на клемите на другият консуматор $ЗСм.2$ при пускане на $ЗСм.1$

За тази цел трябва да определим загубата на напрежение в кабелната линия на консуматор № 2,

$$\Delta U_{кл2} = \frac{x_o \cdot \sum Q_k \cdot l_k}{U_n} + \frac{r_o \cdot \sum P_k \cdot l_k}{U_n} =$$

$$= \frac{0,102 \cdot 3333,33}{6,3} \cdot 1 + \frac{0,1068 \cdot 3897,06}{6,3} \cdot 3 = 126 \text{ V}$$

Тогава за напрежението на клемите на двигателя на консуматор № 2 при пускане на консуматор № 1 получаваме

$$U_{2К} = \Delta U_{тр} + \Delta U_{кл2} - U_{2н.тр} =$$

$$258,4 + 126 - 6300 = 59145,6 \text{ V}$$

От направените изчисления се вижда ,че напрежението на клемите на двигателя на задвижваща станция $ЗСм.1$ е по-ниско от допустимото приблизително с около 100V. На $ЗСм.2$ то е значително по-високо от минимално допустимото при пускането на двигателя на $ЗСм.1$.За да може напрежението при пускане на $ЗСм.1$ да е в

допустимите норми е необходимо дължината та кабелната линия да е по-малка .В случая тя може да бъде определена по формулата,

$$l_{кл.1 макс.} = \frac{\Delta U_{кл.1}}{I_n (x_o \sin \varphi_n + r_o \cos \varphi_n) \sqrt{3}}$$

$$= \frac{641,6}{1000(0,1068 \cdot 0,866 + 0,102 \cdot 0,5) \sqrt{3}} = 2,58 \text{ km}$$

където $\Delta U_{кл.1}$ е максимално допустимата загуба на напрежение в $l_{кл.1}$,

$$\Delta U_{кл.1} = \Delta U_{\text{дв.мин}} - \Delta U_{тр}$$

$$= 900 - 259,88 = 640,12 \text{ V}$$

В заключение може да се каже ,че с напредване на минните работи и увеличаване на разстоянието между стационарните подстанции и добивните и транспортни машини е наложително използването на междинни подвижни трансформаторни подстанции. По този начин ще бъдат намалени загубите на напрежение в мрежата и ще се подобри пусковият процес на мощните минни консуматори. Необходимо е при известни консуматори и сечения на хранящите кабели предварително да бъдат определени максималните разстояния между тях и подвижната подстанция с показаната формула по-горе. Получените разстояния в процеса на експлоатация не трябва да бъдат надвишавани.

Литература

- Анев Г. Електрически подстанции и релейни защиты, - Печатна база на МНП, 1991.
- Анев Г., Д. Драгнев, Т. Върбев, Ръководство за курсово и дипломно проектиране по електрически подстанции и мрежи, - Печатна база на МГУ, 1997.
- Мишов П., Ръководство за проектиране на електрооборудването на открити рудници, - Печатна база на МГУ, 1997.
- Мишов П., Е. Данков, С. Дунев, Методични указания за курсов проект по електрификация на мините, - Техника 1978.
- Кърцелин Е. и др. Регулиране на напрежението в електро-разпределителни мрежи по метода на характеристичния възел, Конф. с межд. Участие "Автоматика и информатика, 07", 3-6 октомври, 2007, сб. доклади, София.
- Наредба №3 за устройството на електрическите уредби и електропроводните линии.
- Правилник за безопасността на труда при разработване на находища по открит начин.
- Справочни материали на "ФИЛКАБ"

ВЛИЯНИЕ НА ВИСШИТЕ ХАРМОНИЦИ НА РЕЖИМА НА РАБОТА НА ТРИФАЗНИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МАШИНИ

Евтим Кърцелин¹, Йоана Младенова¹, Румен Исталиянов¹, Иван Проданов², Илия Йочев³, Николай Минеков⁴,

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

² «Ен ЕМ КО» ЕООД, гр. София

³ „Рудметал” АД, гр. Рудозем

⁴ „Асарел-Медет” АД – гр. Панагюрище

РЕЗЮМЕ. Показано е влиянието на висшите хармоници върху работата на трифазни електрически машини. Анализирани са използваните методи за ограничаване на вредното влияние на висшите хармоници.

КЛЮЧОВИ ДУМИ : висши хармоници, вредно влияние, електрически машини, методи за ограничаване.

INFLUENCE OF THE HIGH ORDER HARMONICS ON THE BEHAVIOR OF THE THREE-PHASE MACHINE

Evtim. Kartselin¹, Ioana Mladenova¹, Rumen Istalianov¹, Ivan Prodanov², Ilija Jochev³, Nikolai Minekov⁴,

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

² «EN EM KO» EOOD, .Sofia

³ „Rudmetal” AD, Rudozem

⁴ „Asarel-Medet” AD, Panaguriste

ABSTRACT. The publication contains description of the influence of the high order harmonics on the behavior of the three-phase electrical machines and analysis of the methods used for limitation of the harmful effects, caused by the high order harmonics, as well.

KEYWORDS: high order harmonics, harmful effects, electrical machines, methods used for limitation.

Въведение

Съществено предимство на трифазните електрически системи е възможността за получаване на въртящо се електрическо поле [5,6]. Наличието на висши хармоници в електроснабдителните мрежи оказват съществено влияние върху работата на всички електромеханични преобразуватели, построени на принципа на въртящото се магнитно поле. За осигуряване на електромагнитната съвместимост на електропотребителите в една електроенергийна система, са разработени стандарти с които се определят показатели и норми за качество на електрическата енергия.

В доклада е показано влиянието на висшите хармоници върху работата на трифазни електрически машини с въртящо се магнитно поле.

Анализ за влиянието на висши хармоници на режима на работа на трифазни електрически машини

Висшите хармоници на тока и напрежението в трифазни електрически вериги оказват съществено влияние на техните свойства и режим на работа. За това влияние се разглежда конкретния хармоник на трифазно напрежение. Системата трифазни хармоници на напрежението е възможно да се запише по следния начин:

$$\left. \begin{aligned} U_{AK} &= U_{KM} \sin(k\omega t + \Psi_k) \\ U_{BK} &= U_{KM} \sin(k\omega t + \Psi_k - \frac{2k\pi}{3}) \\ U_{CK} &= U_{KM} \sin(k\omega t + \Psi_k + \frac{2k\pi}{3}) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

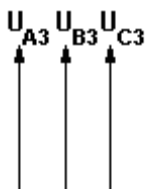
Ще се направи анализ на системата уравнения (1) за различни номера на висшите хармоници.

Трети и кратните на три хармоници, $k=3n$, при $n=1,2,3,4,5,\dots(k=3,6,9,12,\dots)$.

Например, при $k=3$ се получава следната система уравнения:

$$\left. \begin{aligned} U_{A3} &= U_{3m} \sin(3\omega t + \psi_3) \\ U_{B3} &= U_{3m} \sin(3\omega t + \psi_3 - 2\pi) \\ U_{C3} &= U_{3m} \sin(3\omega t + \psi_3 + 2\pi) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

По системата уравнения (2) се построява векторната диаграма, показана на фиг.1.



Фиг.1

От векторната диаграма следват изводите:

- дадените хармоници присъстват във всички фази;
- тези хармоници имат еднаква големина;
- хармониците нямат фазово изместване;

Извод: Тези хармоници не образуват въртящо се магнитно поле също така, както не образува въртящо се поле и еднофазния ток.

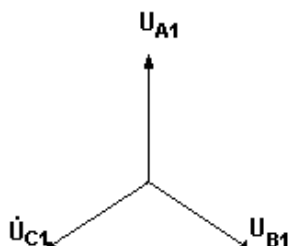
Тези хармоници не създават нито момент, нито мощност на вала на електрическата машина, а само безполезно нагряват намотките на статора в резултат на увеличаване на топлинните загуби и намаляват КПД на машината.

Хармоници с номер $k=3n+1$ при $n=0,1,2,3,\dots(k=1,4,7,10,\dots)$.

Например, при $k=1$ се записва следната система висши хармоници за трифазна верига:

$$\left. \begin{aligned} U_{A1} &= U_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) \\ U_{B1} &= U_{1m} \sin(\omega t + \psi_1 - \frac{2\pi}{3}) \\ U_{C1} &= U_{1m} \sin(\omega t + \psi_1 + \frac{2\pi}{3}) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

По системата уравнения се построява векторната диаграма, показана на фиг.2:



Фиг.2. Векторна диаграма за висши хармоници на напрежение с номер $k=3n+1$.

От фиг.2 следва, че висшите хармоници с номер $k=3n+1$ образуват симетрична трифазна система напрежения. Последователността на редуване на фазите на тези хармоници съвпада с последователността на фазите на първия хармоник.

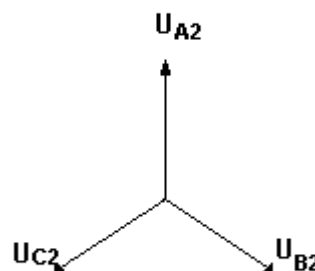
Тези хармоници създават въртящо се магнитно поле с права последователност. Те са полезни, защото създават въртящ момент и мощност на вала на машината.

Хармоници с номер $k=3n-1$, при $n=1,2,3,\dots(k=2,5,8,11,14,\dots)$

Например за $k=2$ се записва следната система уравнения:

$$\left. \begin{aligned} U_{A2} &= U_{2m} \sin(2\omega t + \psi_2) \\ U_{B2} &= U_{2m} \sin(2\omega t + \psi_2 - \frac{4\pi}{3}) \\ U_{C2} &= U_{2m} \sin(2\omega t + \psi_2 + \frac{4\pi}{3}) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

С използване на системата уравнения (4) се построява векторната диаграма, показана на фиг.3:



фиг.3. Векторна диаграма за висши хармоници в трифазна електрическа верига с номер $k=3n-1$.

От векторната диаграма на фиг.3 следват изводите:

1. Висшите хармоници на напрежението с номер $k=3n-1$ образуват трифазна симетрична система напрежения с обратна последователност.
2. Тези хармоници създават въртящо се магнитно поле, но с посока на въртене, обратна спрямо с посоката на полето на основния хармоник.
3. Тези хармоници не само безполезно нагряват намотките на електрическите машини, но и намаляват момента и мощността на машината.

Заклучение

Висшите хармоници с номер 1,4,7,10,13 образуват трифазна система напрежения с права последователност.

Висшите хармоници с номера 2,5,8,11,14.....образуват трифазна система напрежения с обратна последователност.

Висшите хармоници с номера 3,6,9,12..... образуват трифазна неуравновесена система напрежения с нулева последователност.

Получените резултати ще се използват при избора на технически средства за ограничаване вредното влияние на висшите хармоници на работата на трифазни електрически машини с въртящо се магнитно поле.

Литература

БДС 10694 Електрическа енергия. Норми за показатели за качество на електрическата енергия при приемниците.

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

БДС EN 50 160:2003. Характеристики на напрежението та електрическата енергия, доставяна от обществените разпределителни електрически системи.

IEEE Standard 519-1992. Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power systems The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1993.

Ваис А.А., Лурье М. С., Лурье О.М., Электротехника, Сиб. гос.техн. у-я, Красноярск, 2005, част III.

Зевеке Г.В., и др., Основы теории цепи, М., Энергия, 1975.

Кожзаров А.С., Стефанов С. А., Теоретични основи на електротехниката, С., ДИ “Техника”, 1978, част I.

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА КОМПЕНСИРАЩАТА СПОСОБНОСТ НА СИНХРОННИ ДВИГАТЕЛИ С ОТЧИТАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА НАПРЕЖЕНИЕТО НА ЗАХРАНВАЩАТА МРЕЖА

Николай Минеков¹, Румен Исталиянов², Илия Йочев³, Иван Проданов⁴, Йоана Младенова², Николай Лаков²

¹ „Асарел - Медет“ АД, гр. Панагюрище

² Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail rgi@mgu.bg

³ „Рудметал“ АД, гр. Рудозем

⁴ „ЕН ЕМ КО“ ЕООД, гр. София

РЕЗЮМЕ. Изследвано е влиянието на напрежението на захранващата мрежа върху компенсиращата способност на синхронните двигатели.

Ключови думи: Изследване, синхронни двигатели, компенсираща способност

DETERMINATION OF THE COMPENSATORY ABILITY OF SYNCHRONOUS ENGINES TAKING INTO CONSIDERATION THE INFLUENCE OF THE VOLTAGE ON THE ELECTRICAL POWER SUPPLY NETWORK

Nikolai Minekov¹, Rumen Istalianov², Ilija Jochev³, Ivan Prodanov⁴, Ioana Mladenova²

¹ „Asarel-Medet“ AD, Panaguriste

² University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail rgi@mgu.bg

³ „Rudmetal“ AD, Rudozem

⁴ „EN EM KO“ EOOD, Sofia

ABSTRACT. The publication contains research about the influence of the voltage of the electrical power supply network on the compensatory ability of the synchronous engines.

KEY WORDS: voltage, electrical power supply network, compensatory ability, synchronous engines

Въведение

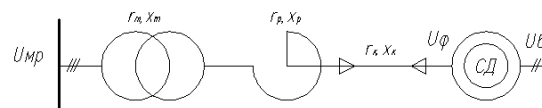
Един от пътищата за повишаване енергийната ефективност на редица промишлени предприятия в минната промишленост е свързан с оптимизацията на работата на синхронните двигатели (СД).

Използването на компенсиращата способност на синхронните двигатели с отчитане на техния режим на работа, стойността на възбудителния ток и напрежението на захранващата мрежа представлява актуална задача за решаване на съвременната електроенергетика.

В [1] е изследвана задачата за определяне влиянието на напрежението на захранващата мрежа върху загубите на електрическа енергия в СД. В този доклад ще се изследва задачата за определяне компенсиращата способност на СД с отчитане влиянието на напрежението на захранващата мрежа.

Математичен модел

Точното определяне на компенсиращата способност на СД е възможно при отчитането на спада на напрежение в захранващата мрежа (понижаващ трансформатор, токоограничаващ реактор), както е показано на фиг. 1



Фиг.1. Типова схема за включване на синхронни двигатели СД.

На фиг. 1 са приети следните означения: U_{MP} , U_{ϕ} , U_B - напрежение на захранващата мрежа, текуща стойност на клемите над двигателя и напрежение на възбуждане; r_k , x_k - активно и реактивно съпротивление на захранващия кабел.

В [2] е предложена формула за определяне зависимостта между реактивната мощност на СД и напрежението на клемите на двигателя, възбудителния ток и статичния товар на двигателя:

$$Q_{CD} = \frac{3U_{\phi H} I_{\phi H}}{x_d} \left(\sqrt{\frac{i_a^2}{i_0^2} - \gamma} \right) \quad (1)$$

където $U_{\phi H}$, $I_{\phi H}$ - съответно номинална стойност на фазното напрежение и ток на двигателя;

$$\beta = \frac{P}{P_H} = \frac{I_a}{I_{aH}} - \text{относително натоварване на статора по}$$

активна мощност;

$$\gamma = \frac{U}{U_{\phi H}} - \text{относителната стойност на напрежението на}$$

клемите на двигателя;

i_a - възбудителния ток на СД;

$$i_{a.a.H} = \sqrt{i_{a.H}^2 - i_0^2 (1 + x_d \sin \varphi_H)^2};$$

$i_{a.a.H}$ - възбудителния ток на СД при $I_a = I_{a.H}$;

$i_{a.H}$ - номинален възбудителен ток на синхронния двигател;

x_d - реактивно съпротивление на синхронния двигател по надлъжната ос, о.е.;

i_0 - ток на възбуждане при празен ход на СД и номинално напрежение на статорните намотки.

Във формулата не се отчита съпротивлението на захранващата мрежа.

Относителната стойност на напрежението на клемите на СД се определя от израза:

$$\gamma = \frac{U}{U_{\phi H}} = \frac{U_{\phi H} - \Delta U_{\phi}}{U_{\phi H}} = 1 - \frac{\Delta U_{\phi}}{U_{\phi H}}, \quad (2)$$

където $\Delta U_{\phi H}$ - загуба на напрежение в захранващата мрежа.

Тъй като напрежението в захранващия възел зависи от активната и реактивната мощност, то загубата на напрежение се определя по формулата:

$$\Delta U_{\phi} = \frac{Pr_x + Qx_x}{3U_{\phi}}, \quad (3)$$

където P и Q - активна и реактивна мощност на товара;
 r_x и x_x - еквивалентно активно и реактивно съпротивление на захранващата мрежа;

$$r_x = r_T + r_K;$$

$$x_x = x_T + x_P + x_K.$$

Тъй като в реалните електрически мрежи се изпълнява условието $r_x \ll x_x$, то изразът (3) приема следния вид:

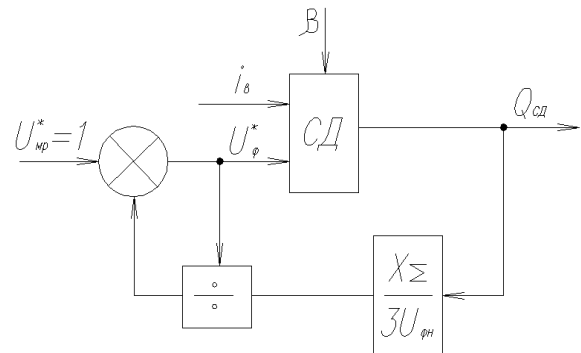
$$\Delta U_{\phi} \approx \frac{Qx_x}{3U_{\phi}}. \quad (4)$$

След заместването на (4) в израз (2) окончателно се получава израза за определяне на относителната стойност на напрежението на клемите на двигателя:

$$\gamma \approx 1 \pm \frac{Qx_x}{3U_{\phi} U_{\phi H}}. \quad (5)$$

Знакът (+) в израз (5) съответства на режим на превъзбуждане (двигателят генерира реактивна мощност в електрическата мрежа), а знакът (-) съответства на режим недовъзбуждане (двигателят консумира от електрическата мрежа реактивна мощност).

Както се вижда от израз (1) за определянето на γ е необходимо да се знае реактивната мощност, генерирана от СД (Q_{CD}), която на свой ред зависи от γ . Тази задача е възможно да бъде решена или чрез метода на последователните приближения (метод на итерациите), или чрез моделиране по структурната схема на СД, съставена с използването на уравнения (1) и (5).



Фиг.2. Структурна схема на синхронен двигател с отчитане на реактивното съпротивление на двигателя.

С помощта на представената структурна схема е проведено изчисляване на зависимостта на реактивната мощност, която се генерира от СД от възбудителния ток $Q = f(i_a)$ при различни стойности на коефициента β и с отчитане на реактивното съпротивление на захранващата мрежа за два типа характерни двигателя:

1. СД – 10000-2 (високооборотен двигател);
2. ДСЗ-5000-16 (нискооборотен двигател).

Параметрите на двигателите са представени в следната таблица № 1.

Таблица № 1.

Параметри на синхронни двигатели тип СД – 10000-2 и ДСЗ-5000-16

параметри на двигателя	СД – 10000-2	ДСЗ-5000-16
P_H, kW	10 000	5 000
U_H, kV	10	10
I_H, A	658	331,5
$\cos \varphi_H$	0,9	0,9
$n, об/мин$	3 000	375
$i_{a.H}, A$	259,1	276
$i_{a.0}, A$	102,9	150
$x_a, о.е.$	2,1886	0,974

Изводи

От получените резултати следва следва извода, че при намаляване твърдостта на характеристиката на захранващата мрежа (увеличаване стойността на X_s^*) стойността на разполагаемата реактивна мощност на двигателя се намалява в границите на (5÷ 25%). Следователно, компенсиращата способност на двигателя се намалява. Този факт трябва да се отчита при изготвянето на баланса на реактивната мощност в захранващ възел при наличието на синхронни двигатели.

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

Литература

- Кърцелин Е.Р. и др., Изследване влиянието на напрежението върху загубите на електрическа енергия в синхронни електродвигатели, Год. на МГУ „Св. Ив. Рилски”, Том 52, св. III, 2009 г., стр. 87-90.
- Першин Ю.С. и др., Расчет оптимального режима работы синхронного двигателя, Электричество, 1981, №9, с. 30-30.
- Петелин Д.П., Динамика синхронного привода поршневых компрессорных установок, М., Машиностроение, 1976.

ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИЯ НА РЕТРОФИТ В ПРОМИШЛЕНИТЕ ПОДСТАНЦИИ СН

Стефан Чобанов

CMC-C ЕООД, 2070 Пирдоп; e-mail: cmcc.office@gmail.com

РЕЗЮМЕ: Синтезиран е дългогодишен опит в създаване на технологии и организация на работа при модернизация чрез ретрофит на подстанции СН в промишлените предприятия. Минимизирани са разходите за материали и труд и забележимо е съкратено времето за изпълнение. Електроинженеринговата фирма CMC-C е сред първите в България, осъществяваща повече от 15 години модернизирание на подстанции чрез ретрофит на КРУ. Във всички етапи – проектиране, изпълнение и изпитване се прилагат съвременни технологии, техника и организация. Постигната е висока ефективност с минимални срокове за изпълнение. Модернизацията на КРУ чрез ретрофит практически се доказва като оптимален подход в условията на ограничени инвестиционни възможности.

TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF MODERNIZATION MV INDUSTRIAL SUBSTATIONS

Stefan Chobanov

CMC-C Ltd., 2070 Pirdop, e-mail: cmcc.office@gmail.com

ABSTRACT: A long experience has synthesized in creating technology and work organization in modernization through retrofit of MV substations in industrial companies. The cost of materials and labor was minimized and the execution time was noticeably shorter. The electroengineering company CMC-C is among the first in Bulgaria, carrying more than 15 years at modernization of substations switchgear retrofit. In all stages - design, execution and testing, the company applies modern technologies, engineering and organization. Achieved high efficiency with minimum terms of performance. Modernization of the switchgear through retrofit proved to be an optimal approach in terms of limited investment opportunities

Обхватност

Ретрофитът може да бъде пълен, при което се заменят всички или почти всички съставни електрически апарати в КРУ – прекъсвач, защита, токови трансформатори, шини, разединяващи контактни съединения. При частичен ретрофит се подменят само отделни апарати, с изчерпан ресурс и/или с ниска надеждност.

Обхватността на ретрофита се определя от инвеститора, мотивиран преди всичко от разполагаемия финансов ресурс.

Организация и управление

Организирането и управлението на екипа, изпълняващ ретрофит, се осъществява при точно спазване на ISO 9001:2008. Изработва се времеви график, който по време на работа перманентно се детайлизира.

Проектиране, конструиране

Проектирането и конструирането е във висока степен автоматизирано, с прилагане на високо технологични лицензирани програмни продукти SolidWorks, E-Plan, Microsoft Project.

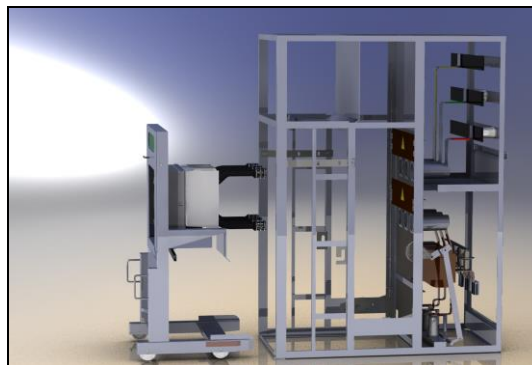
Новата конструкция на подвижната част (количката) на КРУ се адаптира към съществуващата. Проектира се в 3D пространство, което позволява конструкцията виртуално да се наблюдава и анализира във всички посоки. Про-

рамата SolidWorks съдържа анимация, чрез която с висока точност се осъществява и визуализира свързването (присъединяването) на количката.

От общата конструкция се извеждат на печат всички детайли с необходимите за изработване размери.

Фирмата предоставя, идейното решение на конструкцията на фаза offerиране. Така инвеститора получава предварителна, но достатъчно точна представа как ще изглежда КРУ след ретрофита (фиг. 1).

В процеса на проектиране се разработват принципи и монтажни ел. схеми. Избират се и се специфицират съставните апарати.



Фиг. 1 Чертеж 3D за ретрофит на КРУ

Изчислителни проверки

При конфигуриране на конструкцията се детерминират данни за формата, размерите и присъединяването на новите шини. По фирмена методика [3] се правят изчислителни проверки на шините.

- Сечението на шината се проверява (избира) по допустим продължителен ток, лимитиран от номиналния ток на прекъсвача I_n . Допустимият ток $I_{доп}$ е регламентиран в [1]. Условието, което трябва да се спази е:

$$0,9 \cdot I_{доп} > I_n \quad (1)$$

Когато по конструктивни или други съображения се налага да се използва шина с размери, различни от посочените в [1] се определя плътността на тока за най-близкото сечение S_T , съобразено и с размерите на стандартната шина:

$$j_T = \frac{I_{доп, T}}{S_T} \quad (2)$$

Допустимият ток, за нестандартната по размери и сечение S шина е:

$$I_{доп} = j_T \cdot S \quad (3)$$

- Проверката за термична устойчивост на шината в режим на късо съединение се съобразява с, максималните допустими температури при к.с.: за медни шини – 300°C и за алуминиеви шини - 200°C, при възприета гранична начална температура (преди к.с.) - 70°C [1].

Известните в литературата формули са адаптирани за условията на промишлените ел.уредби СН, като с достатъчна точност се изчисляват минималните допустими сечения S_{min} :

за алуминий

$$S_{min} = 12 \cdot I_{\infty}^{(3)} \cdot \sqrt{t_{\phi}} \quad (4)$$

за мед

$$S_{min} = 6 \cdot I_{\infty}^{(3)} \cdot \sqrt{t_{\phi}} \quad (5)$$

където: $I_{\infty}^{(3)}$ е установения ток при трифазно к.с., на шинната система, кА

t_{ϕ} - фиктивното време на к.с. определено по [3], зависи от съотношението между свръхпреходния ток на к.с. - $I_{кск}''$ и установения ток $I_{\infty}^{(3)}$ и от времето за прекъсване на т.к.с. от защитата и прекъсвача t .

- Електродинамичната устойчивост на шинните конструкции в КРУ се оценява под въздействието на амплитудната стойност на ударния ток при к.с. [3]

$$i_y^{(3)} = 2,56 \cdot I_{кск}'' + 6,5 \sum I_{n \cdot дог}, A \quad (6)$$

където: $I_{кск}''$ е свръхпреходния ток на к.с. в шините, А

$\sum I_{n \cdot}$ - сумата от токове на двигателите СН с

единична мощност над 1MW, присъединени в близост до шините, А Напречните деформации на шините са функция от електродинамичната сила на линеен метър f . За трифазна система:

$$f = 1,73 \frac{i_y^{(3)^2}}{a} \cdot 10^{-7} \cdot K_{\phi}, N/m \quad (7)$$

където: a е междусеовото разстояние между две съседни шини в трифазната система, m;

K_{ϕ} - коефициент на формата, отчитащ съотношението между размерите на сечението на шината и от тяхното взаимно разположение [3].

Дължината (разстоянието) на надлъжната фиксация L се ограничава от изчислената максимална стойност L_{max}

За медни шини:

$$L < L_{доп} = 15,7 \sqrt{\frac{b^2 h}{f}} \quad (8)$$

За алуминиеви шини:

$$L < L_{доп} = 11,1 \sqrt{\frac{b^2 h}{f}} \quad (9)$$

където: b и h са съответно ширината и височината (дебелината) на шината.

Надлъжната деформация възниква в огънатите участъци на шините под действието на електродинамичните сили и моменти, създадени от ударния ток при к.с.. В [4] се препоръчват зависимости, чрез които с достатъчна точност може да се определят:

Електродинамичната сила

$$F = 10^{-7} \cdot i_y^2 \cdot K_{\phi} \quad (10)$$

И моментът, спрямо огъвката

$$M = 10^{-7} \cdot i_y^2 \cdot m_{\phi} \quad (11)$$

където: K_{ϕ} и m_{ϕ} са коефициенти, зависещи от формата на огънатите шини [3] [4].

Механичното напрежение в огънатата шина е [3].

$$\sigma = \frac{5,7 \cdot M}{b \cdot h^2} < \sigma_{доп} \quad (12)$$

Доставки

Доставките се организират своевременно, по спецификациите в разработените схеми и конструкции. Производителите са избрани съобразено с предпочитанията на инвеститора.

Изработване на елементи и конструкции на количката

СМС-С разполага със съвременни металообработващи машини и заваръчна техника за изработване на необходимите детайли и конструкции.

За разкрояване и отвори в медни и алуминиеви шини се използва съвременна машина с електрохидравлично задвижване, с която се постига висока точност и гладкост на срезове. Така се предполага прецизен монтаж и минимални преходни контактни съпротивления в съединенията (фиг. 2).

В носещата конструкция на количката, всички заварки се изпълняват в газова среда.



Фиг. 2 Машина обработка за шини

Монтаж и наладка на количката на КРУ

Точната техническа документация и прецизно изработените детайли и конструкции позволяват монтажа да се извърши бързо и с високо качество.

Наладка се прави на механичните блокировки и на разединяващите контактни съединения при вкарване и изваждане на количката към стационарната част на КРУ. Съснотта и точността са изключително важни. В монтажния цех се използва специализиран стенд (фиг. 3), чрез който се възпроизвежда присъединяването на количката към стационарната част на български, руски и немски КРУ.

Прецизно изпълнената наладка на стенда позволява лесно и бързо присъединяване на иновирания количка към стационарната част на КРУ в подстанцията. Нашият опит показва, че допълнителна наладка в подстанцията практически не се налага или отнема броени минути.



Фиг.3. – Стенд за наладка на КРУ в монтажния цех

Вторична комутация

Вторичната комутация на КРУ основно се преработва при подмяна на електромеханичните защиты с микропроцесорни и по-рядко при смяната на типа на микропроцесорната защита.

Микропроцесорната защита се монтира на лицевия панел на релейния отсек. В релейния отсек остават само допълнително необходими елементи: захранвания, контактори, измерители, клеморед, осветление.

Всички елементи и връзките между тях се изпълняват върху плоча или конструкция, която се монтира директно в релейния отсек (фиг. 4). Тази технология съкращава рязко времето за монтаж, облекчава труда и създава условия за качествено изпълнение.

След извършване на монтажа се прави функционална проверка за работоспособност.



Фиг. 4 Конструкция на релейен отсек с вторична комутация

Изпитвания в монтажния цех

След ретрофита на количката и изработване на плочата с вторичната комутация, преди транспортирането им в подстанцията, в монтажния цех се провеждат необходимите измервания и изпитвания (фиг.5) по фирмена процедура [5], съответстваща на БДС, EN и IEC, и отразяваща изискванията в [1] и [2] (таблица 1).



Фиг. 5 Изпитване на количка

Таблица 1

№	Наименование и зона на изпитването	Изм.уред, параметър		Минимални стойност по [1],[2],[5],[6]	Забележка
1	Измерване съпротивлението на изолацията на:	Мегаометър 2500V		>10MΩ	Да съответства на данните посочени от производителя
	А) първична верига				
	Б) вторична верига	Мегаометър 1000V		≥ 1 MΩ	
	- шини DC при разединени вериги	Мегаометър 1000V		≥ 1MΩ	
2	- всяко присъединяване на вторичната верига за захранване на прекъсвача и други апарати ВН	Мегаометър 250V		≥0,5 MΩ	За трите фази едновременно
	- вторична верига захранвана с напрежение до 60V				
	Изпитване с повишено напрежение с промишлена честота	Органична изолация, kV	Керамична изолация, kV	Продължителност:	
	- първична верига *КРУ 6kV, kV	28,8	32	керамична изолация: 1min;	
	*КРУ 10kV	37,8	42	Органична изолация: 5min	
3	- вторични вериги	1 kV		1 min	Всяко присъединяване към и между несвързани ел. вериги
	Измерване натиска на разединяващите контакти на първичната верига	Измерване на сила (динамометър) с обхват 0-200N		Регламент на производителя или [5]	На стенда в ремонтния цех и в подстанцията
4	Измерване затягането на болтовите съединения в главната верига	Динамометричен ключ с обхват 20-200Nm		Регламент на производителя и [5]	
5	Проверка на търкалящите се части и блокировки	Проверяват се: -механични блокировки -съвпадане на осите на подвижните и неподвижните разединяващи контакти		5 – вкарвания и изкарвания на количката на КРУ	На стенда в монтажния цех и в подстанцията

Доставка, монтаж и изпитване в подстанцията

При положителни резултати от изпитването, количката и таблото с вторичната комутация, опаковани във фолио, се доставят в подстанцията.

Монтажът на количката и вторичната комутация се изпълнява при изключено от напрежение КРУ. Следва пряко-предавателно изпитване на цялата конструкция КРУ по [7]

Възприетите технологии и организация позволяват монтажа на КРУ в подстанцията да се сведе само до няколко часа. Минималното постигнато време от СМС-С за КРУ е 100мин. (фиг.6).



Фиг. 6 КРУ след ретрофит

Ефективност на модернизацията на КРУ чрез ретрофит

Ефективността на ретрофита на КРУ СН трябва да се оценява спрямо другия възможен подход за модернизация, с доставка и монтаж на нови КРУ, по технически и икономически показатели.

В техническо отношение, като параметри модернизираният чрез ретрофит КРУ не отстъпват на произведените съвременни КРУ. Това се определя от обстоятелството, че при ретрофит се вграждат най-съвременни апарати (прекъсвачи, цифрови защиты, измерителни трансформатори и др.), използвани и в предлаганите нови типове КРУ. А тъй като те определят и основните технически параметри. Ако в този технически аспект отнесем и дизайна, коректността изисква да се отбележи предимство за новите КРУ както по отношение на външния вид и ергономията, така и за по-малките им габарити. Но веднага трябва да отбележим, че по-малките габарити в повечето случаи нямат съществено положително значение за съществуващи ел.уредби. Нещо повече, те се превръщат в

недостатък, защото налагат преустройство в строителната част на съществуващите подстанции.

В икономическо отношение предимствата на ретрофита са безспорни и значими. Стойността на модернизираното при пълен ретрофит на КРУ е около 2 пъти по-ниска спрямо новите КРУ. При частичен ретрофит, с цената на допустими технически компромиси, това число, в зависимост от обхвата му, може да нарасне

При ретрофита на КРУ – не се налагат допълнителни строителни работи в съществуващите подстанции, тъй като стационарната им част се запазва. При нови КРУ се налагат строителни работи, които изискват допълнителни разходи за проектиране, за строителни материали и изпълнение. Отпадането на тези разходи още повече увеличават ефективността на ретрофита.

Модернизацията на подстанциите налага прекъсване на електрозахранването или най-малко лишаване от резервно захранване за определено време. Това време е несравнимо по-голямо при монтаж на нови КРУ. А това има както техническо, така и парично изражение.

*Препоръчана за публикуване от катедра
Редакционен съвет*

Заклучение

Иновирането на подстанциите чрез ретрофит на КРУ трябва да се приеме като приоритетно технико-икономично решение, в условия на ограничени инвестиции, с качество и ефективност, зависещи в голяма степен от прилаганите технологии и организация.

Литература

- Наредба №3 за устройството на електрическите уредби и електропроводните линии. ABC – 2004г. Доп..2007г.
Наредби №16-116 за техническа експлоатация на електрообзавеждането – 2008г.
Методика за изчисляване на шинните съединения в КРУ. Актуал.ред. 2010г. Архив СМС-С ЕООД
Основы теории электрических аппаратов, ред. На Г. Буткевич. Высшая школа.М.1970г.
Процедура за изпитване на Комплексни разпределителни устройства (КРУ) за закрит монтаж. Акт.ред. 2009г. Архив СМС-С ЕООД.
Наредба №9 за техническа експлоатация на електрически централи и мрежи 2004г., Доп. Изд. 2008г.
Наредба №3 /18.09.2007 на МРРБ за технически правила и нормативи за контрол и приемане на електромонтажните работи

АНАЛИЗ НА СИСТЕМИТЕ ЗА УПРАВЛЕНИЕ И ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА УЛИЧНИТЕ ОСВЕТИТЕЛНИ УРЕДБИ (СУЕ-УОУ)

Ради Пипев¹, Красимир Велинов²

¹ Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, София 1700 E-mail: radi.pipev@mail.bg

² Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, София 1700 E-mail: candela@mail.bg <http://lighting-bg.eu/>

РЕЗЮМЕ. В доклада е направен преглед на различни системи за управление и експлоатация на улични осветителни уредби (СУЕ-УОУ) предлагани у нас и по света. Дефинирани са основните задачи при експлоатация на УОУ, както и начините за комуникация в системите за управление на УОУ (СУ-УОУ).

ANALYSIS OF THE SYSTEMS FOR MANAGEMENT AND MAINTENANCE OF STREET LIGHTING SYSTEMS

Radi Pipev¹, Krassimir Velinov²

¹University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, E-mail: radi.pipev@mail.bg

² University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia E-mail: candela@mail.bg <http://lighting-bg.eu/>

ABSTRACT. The paper reviews several different systems for management and maintenance of Street lighting systems (MM-SLS) available in Bulgaria and around the world. The main tasks connected with the maintenance of the SLS as well as the ways of communication within the SLS management systems have been defined.

1. Въведение

Основните задачи при експлоатация на уличните осветителни уредби (УОУ) са следните [8]:

- Поддържане на светлотехническите показатели на УОУ чрез своевременната подмяна на дефектиралите елементи и чрез редовно почистване осветителите;
- Осигуряване на точното време за включване и изключване на уличното осветление.
- Изпълнение на неотложни работи по ликвидиране на внезапни аварии;
- Ежемесечно отчитане и анализ на разходите за електроенергия и реализиране на програми за икономия на електроенергия от УОУ;
- Реконструкция на морално и физически остарели УОУ;
- Периодично измерване на нивото на напрежение и токовете в характерни контролни точки.
- Приемане и въвеждане в експлоатация на нови УОУ;
- Утилизация на излизащите от употреба компоненти – лампи, ПРА, осветителни тела и др.

Изхождайки от горните изисквания решението на тези задачи става най-добре чрез използване на така наречените системи за управление и експлоатация на УОУ (СУЕ-УОУ).

Чрез тях могат да се управляват ежедневно противещите технологични процеси и да се облекчи и автоматизира труда на специалистите по експлоатацията на УОУ [1-7].

Обикновено една такава система представлява съвкупност от географска информационна система и набор от хардуерни средства за управление на УОУ.

2. Начини за комуникация в системи за управление на УОУ (СУ-УОУ)

2.1. Преносни среди за СУ-УОУ в зависимост от комуникационния канал за пренос на данни

- Преносната среда служи за пренасяне на сигнали (данни) от едно устройство към друго.

2.1.1. Наземна (кабелна) преносна среда

- Представлява преносна среда на базата на направлявани (пътуващи) вълни в твърда среда (комуникационен канал);

– В зависимост от комуникационния канал, в който се извършва преноса на данни, наземните преносни среди могат да бъдат класифицирани по следния начин:

- Метални проводни линии:
 - Кабелни проводни линии:
 - Симетрични комуникационни кабели (напр. усукана двойка);
 - Коаксиални кабели;
 - Силови кабели;
- Неметални проводни линии:
 - Кабели с оптични влакна:
 - Оптични кабели.

2.1.2. Безжична преносна среда.

– Представлява преносна среда на базата на ненаправявани (излъчени) вълни. Предаването и приемането на вълните се осъществява с помощта на антени;

– В зависимост от комуникационният канал, в който се извършва преноса на данни, безжичните преносни среди могат да бъдат класифицирани по следния начин:

- Електромагнитни излъчвания:
 - Наземни електромагнитни излъчвания:
 - Радиочестотен спектър (радиовълни);
 - Wi-Fi спектър (Wi-Fi вълни);
- Лазерни лъчения:
 - Bluetooth (Клас 1).

2.2. Среди за комуникация в СУ-УОУ:

2.2.1. Физически:

- Кабелни (фиксирани) мрежи:
 - Мрежи на доставчици на електронни комуникации:
 - Фиксирани мрежи на доставчици на телекомуникационни услуги (телефонни линии);
 - Фиксирани мрежи на Интернет доставчици (LAN);
 - Мрежи на кабелни телевизии;
 - Електрически електроснабдителни мрежи:
 - Ел. захранваща мрежа НН (Power Line);
- Безжични мрежи:
 - Мрежи на мобилни оператори;

- Безжични мрежи на Интернет доставчици (Wi-Fi);
- Bluetooth мрежи (Клас 1);
- Радиочестотен спектър (радиомрежа);

2.2.2. Логически:

- Глобална информационна мрежа Интернет.

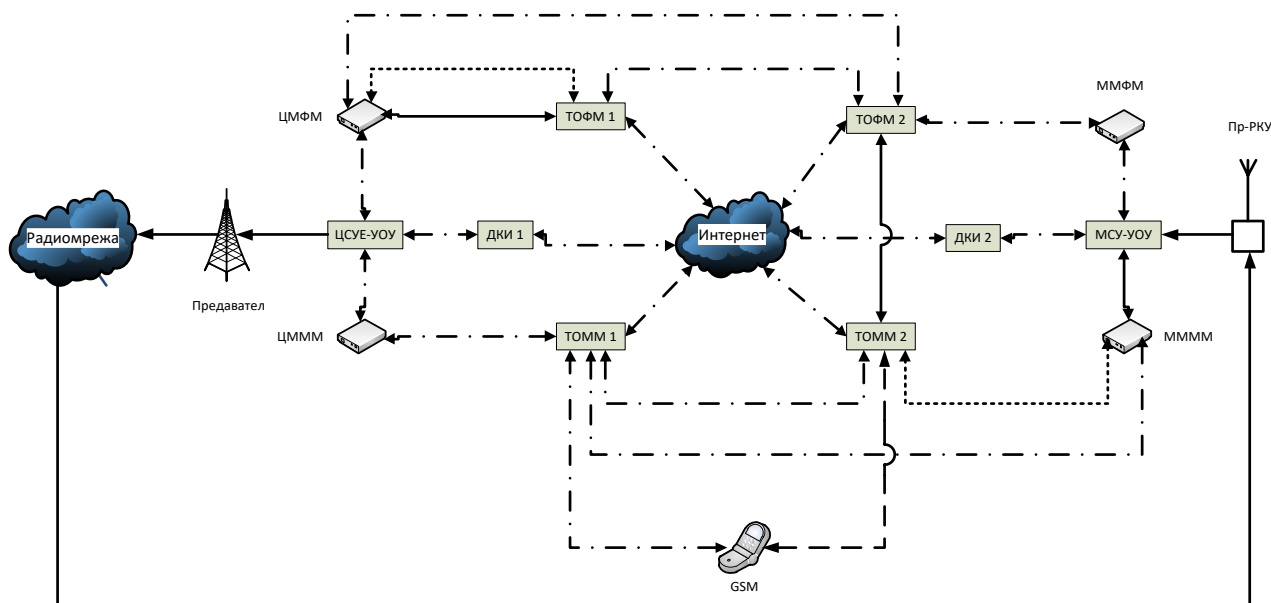
2.3. Видове комуникации в СУ-УОУ

2.3.1. Първични (свързващи) комуникации:

– Това са комуникации служещи за предаване на данни (връзка) между централизираните СУ-УОУ (ЦСУ-УОУ) и местните (локални) СУ-УОУ (МСУ-УОУ).

– Могат да бъдат осъществени в следните среди за комуникации:

- Среди за комуникация на основата на Интернет среда за комуникация:
 - Кабелни преносни среди:
 - Кабелни мрежи на телекомуникационни оператори (наети телефонни линии);
 - Кабелни мрежи на Интернет доставчици (LAN);
 - Безжични преносни среди:
 - Мрежи на мобилни оператори, чрез предоставяните от тях технологии и услуги за предаване на данни (GSM-GPRS/EDGE/UMTS и др.);
- Среда за комуникация на основата радиочестотния спектър:
 - Радиосигнали.



Фиг. 1. Схема на първични (свързващи) комуникации в СУ-УОУ

Легенда:

ЦСУЕ-УОУ	– Централизирана система за управление и експлоатация на улични осветителни уредби;
МСУ-УОУ	– Местна система за управление на улични осветителни уредби;
ТОФМ	– Телекомуникационен оператор на фиксирана мрежа
ТОММ	– Телекомуникационен оператор на мобилна мрежа
ДКИ	– Доставчик на кабелен Интернет
ЦМФМ	– Централен модем за фиксирана мрежа
ЦМММ	– Централен модем за мобилна мрежа
ММФМ	– Местни модеми за фиксирани мрежи
ММММ	– Местни модеми за мобилни мрежи
Пр-РКУ	– Приемник за радио-канално управление

2.3.2. Вторични (местни/локални) комуникации:

– Това са комуникации служещи за предаване на данни (връзка) между МСУ-УОУ и подчинените им елементи за управление, които са част от местните УОУ.

– Могат да бъдат осъществени в следните среди за комуникации:

- Ел. захранващи мрежи за улично осветление, чрез модеми за предаване на данни по захранващата линия (Power Line Modems);
- Безжични мрежи (Wireless Networks):
 - Wi-Fi мрежи;
 - Bluetooth мрежи.

2.4. Видове протоколи за комуникация в преносните среди за предаване на данни в СУ-УОУ според тяхната достъпност (публичност):

2.4.1. Отворени (публични);

2.4.2. Затворени (фирмени).

3. Видове системи за управление на уличните осветителни уредби (СУ-УОУ) използвани в България в зависимост от начина на управление на УОУ според мащабируемостта на системите за управление

3.1. Местно (локално) управление:

- Ръчно управление;
- Управление с фотоелектрични елементи (фоторелета);
- Управление с програмируеми астрономически часовници;
- Управление с местни програмируеми управляващи контролери;

3.2. Централизирано управление:

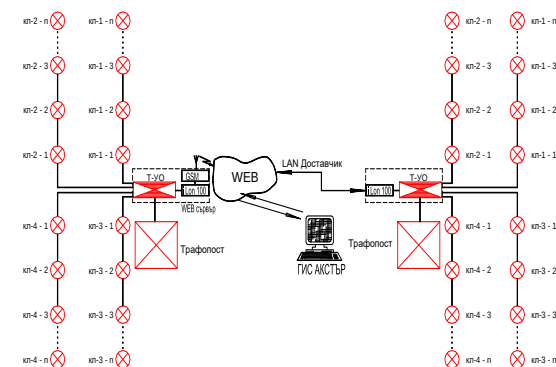
- Централизирано радиоканално (радиочестотно) управление;
- Централизирано управление на местни управляващи контролери.

4. Видове системи за управление и експлоатация на уличните осветителни уредби (СУЕ-УОУ) предлагани в България

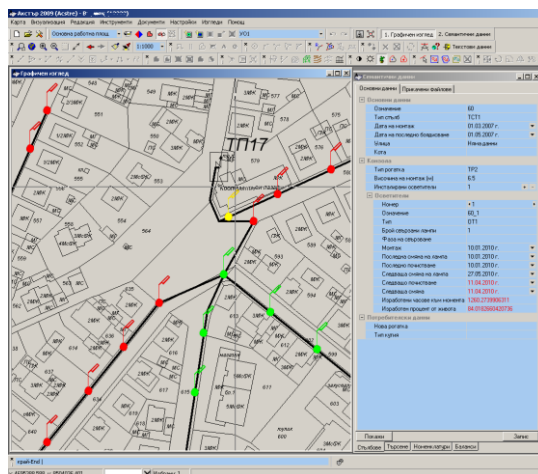
4.1. АКСТЪР Улично осветление (Софтуерна група АКСТЪР):

<http://www.acstre.com/BG/Read.php?id=1157>

- Системата АКСТЪР Улично осветление е предназначена за създаването и поддържането на цифров план на инженерната инфраструктура на улично осветление. Върху съществуващ цифров модел (векторен или растрен) системата изгражда векторен модел на проводите и съоръженията, свързани с електроснабдителната мрежа и уличното осветление;
- Системата АКСТЪР Улично осветление позволява към отделните съоръжения за улично осветление (в цифровия модел) да се прикрепят богат набор от семантични данни, като видове и височини на стълбове, брой осветители и дата на последната им смяна, видове кабели и тяхното състояние, касетки с електромери както и техните показания;
- Върху въведените данни е възможно да се правят множество справки и отчети;
- Системата АКСТЪР Улично осветление е предназначена за общински администрации или фирми, чиито подразделения са взели на концесия уличното осветление;



Фиг. 2. Структура на СУЕ-УОУ „АКСТЪР – Улично осветление“



Фиг. 3. Екранен изглед от ГИС „АКСТЪР – Улично осветление“

4.2. Автоматизирана система за управление на градско улично осветление („АДД България“ ООД съвместно с „Димов Къмпани“ ЕООД) http://add-bg.com/products_street_light_bg.html

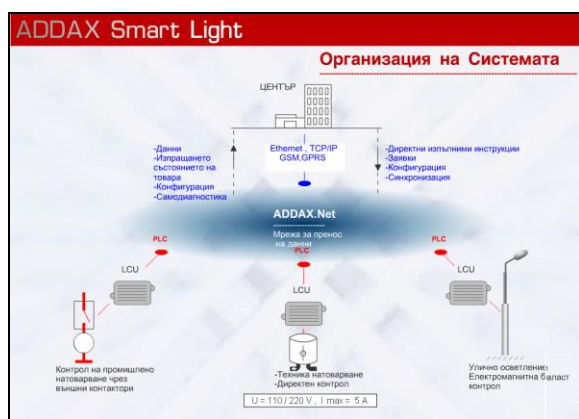
Системата се състои от център за управление и контрол, както и система за индивидуално и групово управление на уличното осветление.

Системата използва структурата на SMM система и извършва следните функции:

- Групово и индивидуално управление на лампи;
- Автоматично включване и изключване на осветлението съобразно изгрева и залеза на слънцето;
- Информация за състоянието на лампата в реално време: свети, не свети, причина;
- Енергиен баланс на системата.

Предимства:

- Увеличаване на енергийната ефективност, чрез гъвкаво и лесно управление на осветяването и идентифицирането на загуби и опити за кражба на електроенергия;
- Значително намаляване разходите по поддръжка на системата, поради лесното идентифициране на проблемите и проблемните осветителни тела.



Фиг. 4. Структура на СУ-УОУ на „АДД България“

4.3. Нет.Стрийт („Нет.Стрийт Електроникс“ ООД) <http://netdotstreet.com/indexB.html>

Управление на уличното осветление с енергоспестяващи продукти и технологии води до повишаване на енергийната ефективност.

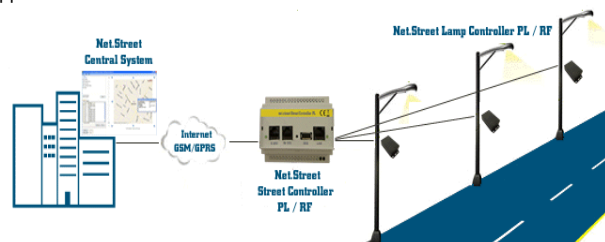
В основата на Нет.Стрийт продуктите е Powerline-базиран протокол за изграждане на мрежи (EHS - European Home System - влял се заедно с два други протокола при създаването на европейската организация Konnex), при който сигналите за управление се изпращат по силовата мрежа (инсталацията за ток), без да е необходимо прекарване на нови кабели.

Управлението на уличното осветление се осъществява по наличната мрежа за ток (Net.Street PL). Там където

уличните лампи се захранват от слънчеви батерии, управлението става по 868MHz RF (Net.Street RF).

Уличните лампи се управляват от контролер за лампи (Net.Street Lamp Controller). Този контролер управлява самата лампа по DALI или 1-10V интерфейс. Контролерът за лампи комуникира по Powerline или по RF с уличния контролер.

Уличният контролер (Net.Street Street Controller) обменя данни с Централната система за управление по Internet или по GSM/GPRS. Тази връзка се осъществява от доставчик.

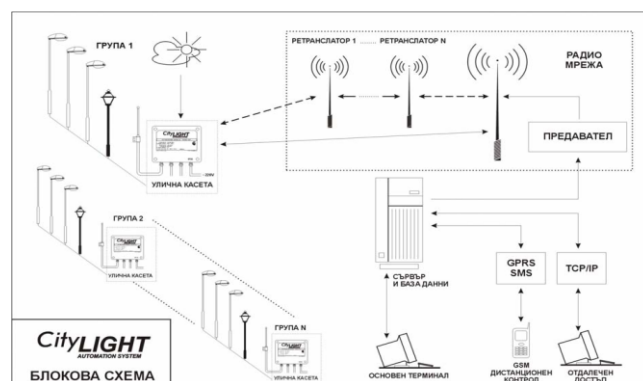


Фиг. 5. Структура на СУ-УОУ „Нет.Стрийт“

4.4. CityLight Улично осветление („Хит“ ООД):

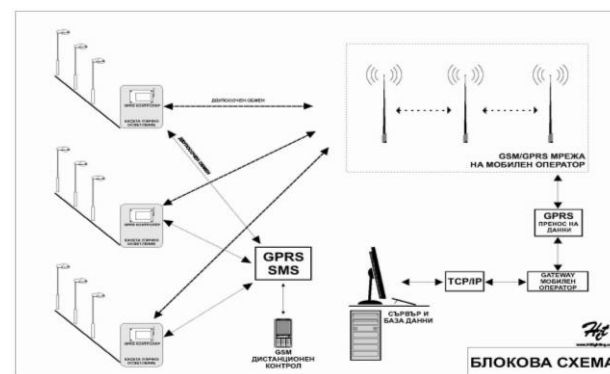
http://www.hitlighting.com/?action=documents&manufacturer=&group=502&content=/group_content.php&orderby=name_up

4.4.1. CITYLIGHT I – еднопосочна система за радиокомандно управление на уличното осветление чрез собствена преносна среда.



Фиг. 6. Структура на СУ-УОУ „CITYLIGHT I“

4.4.2. CITYLIGHT II – двупосочна система за управление на уличното осветление чрез GSM/GPRS преносна среда.



Фиг.7. Структура на СУ-УОУ „CITYLIGHT II“

4.5. Системи за радиоканално управление

Собствена разработка на системи за централизирано радиоканално управление на уличното осветление се предлагат и от следните организации:

- „Технически университет – София – Технологии“ ЕООД –
доц. д-р инж. Кирил Захаринов;
- Русенски университет „Ангел Кънчев“ –
доц. д-р инж. Радослав Кючуков;
- „Денима 2001“ ООД;
- „Дигалог Техника“ ООД;
- „ЛОГ Сиберия“ ЕООД;
- Други.

5. Класификация на някои видове системи за управление на уличните осветителни уредби (СУ-УОУ) на чуждестранни фирми според средата за комуникация и използваната технология за връзка



Литература

[1] Велинов Кр., М. Аладжем, Компютърно проектиране на улични осветителни уредби, Сборник с доклади на Първа Балканска конференция по осветление BALKANLIGHT'99 "Енергийно-ефективно, екологично и ергономично осветление" 6-8 Октомври 1999 год. МДУ "Ф. Ж. Кюри", Св. Св. Константин и Елена, Варна, стр. 71-76.

[2] Велинов Кр., Н. Сахатчиев "Приложение на географска информационна система АКСТЪР за проектиране на улично осветление", Сборник с доклади на I-ва Балканска младежка конференция по осветление Balkan Light Junior 2000, 15-16 Юни, МДУ "Ф. Ж. Кюри", Курорт "Св. Св. Константин и Елена", стр. 85-94.

[3] Аладжем М., Красимир Велинов, Възможности на ГИС АКСТЪР в експлоатация на електрическите съоръжения. "Европейска мрежа за интеграция на възобновяеми енергийни източници и разпределено енергопроизводство" - Национален семинар, 29.04.04

[4] Велинов Кр. М. Маринов, Н. Тасев, П. Капраляков, ВЪЗМОЖНОСТИ НА ГИС АКСТЪР В ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА УЛИЧНОТО ОСВЕТЛЕНИЕ Сборник с доклади на XII Национална конференция по осветление с международно участие Осветление'2004, 15 – 17 Юни 2004, Международен дом на учените „Ф. Ж. Кюри“, Варна, България, стр. 67

[5] Велинов Кр., О. Кишкилов, Приложение на технологията LONWORKS за управление и контрол на осветителни уредби, Сборник с доклади на XIII Национална конференция по осветление с международно участие Осветление'2007, 10 – 12 Юни 2007, Международен дом на учените „Ф. Ж. Кюри“, Варна, България, стр. 73-78.

[6] Велинов Кр., Я. Рубенов, Приложение на ГИС АКСТЪР в експлоатация на уличното осветление на гр. Благоевград, Сборник с доклади на XIII Национална конференция по осветление с международно участие Осветление'2007, 10 – 12 Юни 2007, Международен дом на учените „Ф. Ж. Кюри“, Варна, България.

[7] Velinov Kr. Pipev R. Rubenov Y. Maintenance, management and control of Street-lighting systems with ACSTRE Street-Lighting Geographic Information System, LuxJunior 2009, 9. Internationales Forum fur den lichttechnischen Nachwuchs 25 bis 27.09.2009, Dornfeld/Ilmenau.

[8] Василев Хр., Кр. Велинов, Оптимално проектиране и експлоатация на улични осветителни уредби по критерий нетна сегашна стойност сп. Пътища 2/2008 г.

[9] Велинов Кр., Р. Пипев, О. Кишкилов, Я. Рубенов. Нова система за управление и експлоатация на уличното осветление. Сборник с доклади от XIV Национална конференция с международно участие BulLight/БългарияСветлина 2010, 10-12 Юни 2010, МДУ „Фр. Ж. Кюри“, к.к. „Св. Св. Константин и Елена“, гр. Варна, България.

[10] Wikipedia, <http://www.wikipedia.org>.

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

ВИСШИ ХАРМОНИЦИ В МРЕЖИ С МОЩНИ ВЕНТИЛНИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Иван Стоилов¹, Кирил Джустров²

¹ Минно-геоложки университет "Св. Ив. Рилски", 1700 София, E-mail: ivan_stoilov@abv.bg

² Минно-геоложки университет "Св. Ив. Рилски", 1700 София, E-mail: justrov@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Коментират се резултатите от експериментални изследвания на висшите хармоници в електрическите мрежи на предприятие от цветната металургия. Анализирани са възможностите за компенсиране на висшите хармоници в напрежението.

UPPER HARMONICS IN SUPPLY LINES WITH POWERFUL VALVE CONVERTERS

Ivan Stoilov¹, Kiril Dzhustrov²

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

² University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: justrov@mgu.bg

ABSTRACT: The results of the experimental researches in the upper harmonics in the supply lines of a non-ferrous metallurgy enterprise are treated. The possibilities of compensation of the upper harmonics of the voltage are analyzed.

1.1. Измервателна апаратура

Измерванията са проведени с многофункционален прибор Multiver 3SN, който извършва хармоничен анализ на напрежението и тока в трите фази, сканирайки с честота 4 kHz, прилагайки изчислителен алгоритъм – бързо преобразуване на Фурие. Приборът дава стойностите на хармоничния състав в % спрямо основния хармоник (50 Hz) до хармоник с номер 25. Уредът позволява запис в цифров вид на кривите на тока и напрежението с честота на сканиране 2,5 kHz, което обуславя голяма точност (<0,5%).

1.2. Методика на измерванията.

Възприето бе измерванията да се провеждат на страна 20kV на трансформаторите, захранващи съответните машини и на страна ниско напрежение за съответните задвижвания. На страна 20 kV приборът се свързваше към измервателните трансформатори в КРУ на цеховите подстанции. На страна ниско напрежение измерването на тока се извършаваше директно с амперклемите на прибора, присъединени към входящите кабели в таблата ниско напрежение. При повече от един кабел се приема, че товара е разпределен равномерно. Напреженовите вериги на прибора се свързват директно в мрежи с напрежение до 500 V, а при по-високи напрежения към съществуващите измервателни трансформатори.

Един цикъл за хармоничен анализ продължава 30s. За всяка точка са проведени от 3 до 6 измервателни цикъла. Резултатите от проведените експериментални изследвания са обработени с приложни програмни продукти

Регистрирани са амплитудно-честотните спектри на висшите хармоници на всички задвижвания захранвани от мощни вентилни преобразователи на предприятието „София мед“ АД (Стоилов и Джустров, 2010). Тук се коментират някои резултати от измерванията на най-мощните двигатели на валцовите станове. На хистограмите, показващи амплитудно-честотния спектър на хармоничните съставлящи, са дадени получените резултати за част от измервателните цикли. В таблиците под хистограмите са дадени максималните регистрирани стойности на коефициентите на съответните хармоници от всички измервания.

1.3. Измервания на страна 20kV.

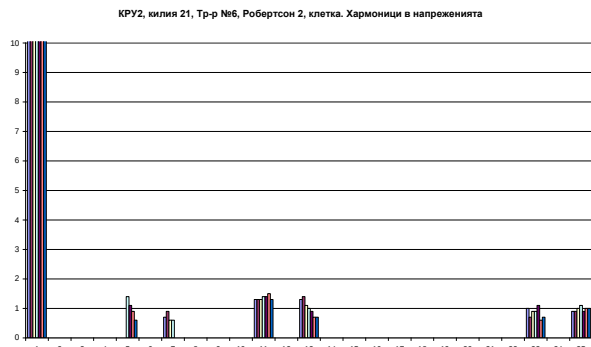
На фиг.1 е представен амплитудно-честотния спектър на хармониците, регистрирани на страна 20 kV – кабелна линия, захранваща трансформатор 2500 kVA. Към вторичната намотка на трансформатора е свързан 6 фазен вентилен преобразовател, който захранва главния двигател на валцов стан Robertson 2 (постояннотоков двигател с мощност 1650 kW.)

От представената графика на амплитудно-честотния спектър на висшите хармоници в напрежението на шини 20 kV се вижда, че при работа на Robertson 2 – клетка присъстват само канонични хармоници, които са характерни за 6 фазната схема на изправяне (Иванов В. С., В. И. Соколов, 1987).

Индивидуалните коефициенти на хармониците №5, №7, №11 и №13 са значително по-ниски от допустимите (EN 50160:2000). Незначително превъзхождат нормите има регистрирани при единични измервания на хармо-

ници с номера 23 и 24. Регистрирани са максимални стойности на коефициентите 1,8% и 2,2% при допустима стойност 1,5%. В преобладаващата част от измервателните цикли тези хармоници са с коефициент около 1%.

Общият коефициент на несинусоидалност THD е 4,4%, което е значително по-нисък от допустимия за мрежи средно напрежение – 8% (EN 50160:2000).



фиг.1. Хармоничен спектър в напрежението на стан Robertson 2 (6 фазна схема на изправяне)

Таблица 1.

Наименование	номер на хармоник, %							THD
	1	5	7	11	13	23	25	
Robertson 2	100	1,7	0,9	3,0	2,0	1,8	2,2	4,4

За захранване на двигателя на Hot mill - клетка (2400kW) е приложено паралелно свързване на два изправителни моста. Те се захранват с напрежение, изместено на съответен ъгъл от тринамотъчен трансформатор на който едната вторична намотка е свързана в триъгълник, а другата в звезда. По този начин се получава така наречената 12-фазна схема на изправяне. За нея са присъщи хармониците с номера 11, 13, 23, 25 и т.н., което се потвърждава от факта, че при хармоничния анализ на тока присъстват само каноничните хармоници за 12-фазната схема на изправяне – 11, 13, 23 и 25 (фиг.2).



фиг.2. Хармоничен спектър в тока на стан Hot mill (12 фазна схема на изправяне)

Регистрираните коефициенти на хармониците в напрежението са с ниски стойности. При едно от измерванията е отчетена максимална стойност на 25

хармоник – 1,7 % при препоръчана норма 1,5%. Общият коефициент на несинусоидалност THD е 3,8%.

Таблица 2.

Наименование	номер на хармоник, %					
	1	2	11	13	23	25
Hot mill	100	12,2	11,3	4,8	1,9	1,7

1.4. Измервания на страна ниско напрежение на цеховите трансформатори.

Висшите хармоници в мрежите НН на трансформаторите, захранващи вентилни преобразователи са неотменна черта в тяхната нормална работа. Няма норми за големината на коефициентите на несинусоидалност в тези мрежи. Целта на експерименталните изследвания се свежда до регистриране на евентуална неизправност в управлението на вентилните преобразователи, преценка за възможно претоварване на трансформатори и кабели от висши хармоници. Резултатите от амплитудно-честотния анализ на напрежението и тока биха могли да послужат при избора на устройства за компенсация, свързани на ниската страна на трансформаторите.

На фиг. 3 са показани кривите на напрежението и тока на входа на вентилния преобразовател, захранващ два двигателя на общ вал с мощност всеки по 920 kW, които задвижват валците на стан Sendzimir



фиг.3. Крива на напрежението и тока на стан Sendzimir

В хармоничния състав в кривата на напрежението присъстват множество аномални хармоници - фиг.4.



фиг.4. Хармоничен спектър в напрежението на стан Sendzimir

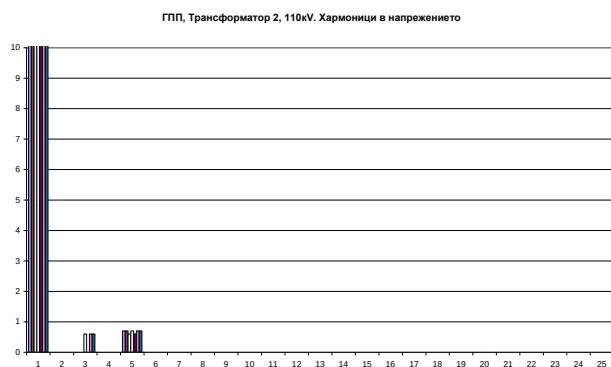
Таблица 3.

Наименование		номер на хармоник, %																		THD
		1	3	5	6	7	9	10	11	12	13	15	16	17	19	21	22	23	25	
Sendzimir, ниско напрежение		100	2,1	5,4	0,5	3,9	1,4	0,3	1,7	0,3	2,4	1,1	0,3	1,0	1,7	0,9	0,3	1,3	1,3	8,2

1.5. Измервания на страна 110kV

На страна 110kV в кривата на напрежението са регистрирани 3-ти и 5-ти хармоник с незначителни коефициенти – съответно 0,6 и 0,7. Общият коефициент на несинусоидалност има минимална стойност (THD=0,9). В кривата на тока присъства само 5-ти хармоник с коефициент на несинусоидалност 8,3%.

Измерванията на страна 110kV показват, че предприятието не замърсява с висши хармоници кривата на напрежението в енергийната система.



фиг.5. Хармоничен спектър в напрежението на страна 110kV

Таблица 4.

Наименование	номер на хармоник, %			THD
	1	3	5	
страна 110kV	100	0,6	0,7	0,9

1.6. Анализ на резултатите от измерванията

От проведените измервания могат да бъдат направени следните изводи:

1. На шините 20 kV на всички подстанции в завода не са регистрирани хармонични съставки в напрежението със стойности над допустимите норми. Стойностите на общия коефициент на несинусоидалност (THD) са в интервала 1,9% - 4,4% при допустима норма 8%.

2. В мрежите ниско напрежение на цеховите трансформатори са регистрирани високи стойности на коефициентите на хармониците в напрежението и тока. Те са присъщи за нормалната работа на съответните вентилни преобразователи. В тези мрежи не се нормират коефициенти на хармониците.

3. Не е целесъобразно да се прилагат устройства за активно компенсиране на хармониците в мрежите НН поради следните съображения:

- не се генерират висши хармоници с недопустими стойности на коефициентите на несинусоидалност в напрежението в мрежата 20 kV, която захранва останалите консуматори;

- не са регистрирани смущения от висши хармоници в линиите за комуникация, в работата на релейните защиты и други устройства и системи;

- не са регистрирани прегрявания в трансформатори, кабели и двигатели;

- предлаганите на пазара устройства са за напрежения 380 - 415 V (Karve Shrid, 2001). Със специална поръчка могат да бъдат изработени за напрежение до 690V (Chapman David, 2001). Част от задвижванията в завода са с по-високи напрежения

- максималният работен ток на единично устройство е 300A, което определя паралелно включване на няколко от тях за по-мощните консуматори, с което се увеличава броя, респективно разходите за доставката им.

4. Не е ефективно компенсирането на реактивната мощност да се извършва на страна НН на цеховите трансформатори поради следните причини:

- наличието на голям брой хармоници с високи коефициенти и бързо променящия се реактивен товар изискват използване на устройства за динамична компенсация;

- предлаганите на пазара устройства за динамична компенсация на реактивната мощност са два вида (AIM Active Harmonic Filters):

- системи изградени от кондензатори, антирезонансни филтри и тиристорни модули за комутация
- електронни модули за корекция на фактора на мощността

И двата вида устройства са ограничени по напрежение

- електронните модули са за мрежи с напрежение до 600 V, а тиристорните модули са за напрежения до 690 V, което ги прави неприложими за част от консуматорите;

- в част от измерванията са регистрирани аномални хармоници, които не могат да бъдат компенсирани от устройствата с антирезонансни филтри;

- необходим е голям брой устройства със значителни мощности за пълно компенсиране на реактивния товар на всички електрозадвижвания.

- дори при пълна индивидуална компенсация на реактивните товари на задвижванията с вентилни преобразуватели, общо за предприятието няма да се постигне неутралния фактор на мощността $\cos \varphi = 0,9$

5. Компенсирането на реактивните товари в предприятието трябва да се извършва централизирано. Измерванията на страна 110 kV категорично потвърждават този извод. В периодите на минимално натоварване, когато основните машини не работят е необходима реактивна мощност около 1000 kVA_г за компенсиране на режима на празен ход на цеховите трансформатори. Тази мощност е невъзможно да бъде осигурена при индивидуална компенсация на отделните електрозадвижвания. По времето на пълно натоварване за компенсиране на фактора на мощността е необходима реактивна мощност

около 3500 kVAг. Тя е определена като са включени всички консуматори в предприятието.

Литература

Стоилов И., К. Джустров. . Заключителен отчет по тема:
Опитно изследване на електрозахранванията на
„СОФИЯ МЕД“ АД. С., МГУ “Инженеринг”, 2010.

EN 50160:2000, Voltage characteristics of electricity supplied
by public distribution systems

Иванов В. С., В. И. Соколов. Режимы потребления и
качество электроэнергии систем электроснабжения
промышленных предприятий. М., Энергоатомиздат, 1987
Chapman David, Harmonics Causes and Effects. Power
Quality Application Guide, Copper Development
Association, UK, 2001.

Karve Shri, Aktive Harmonic Conditioners. Quality Application
Guide, Copper Development Association, UK, 2001.

AIM Active Harmonic Filters, AIM EUROPE, UK
www.aimeurope.com

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

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРЕХОДНИЯ ПРОЦЕС ПРИ ВКЛЮЧВАНЕ НА АПАРАТИ ЗА КОНТРОЛ НА ИЗОЛАЦИЯТА АЗШ-3

Ангел Зъбчев

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

РЕЗЮМЕ: Изследвани са причините за погрешното задействане при включването на руднични апарати за контрол на изолацията АЗШ-3. Определени са времедиаграмата на оперативния ток и продължителността на преходния процес при три захранващи напрежения. Посочено е как да се избегне погрешното задействане чрез изкуствено задържане при включване на изходното реле.

SURVEY OF TRANSITION PROCESS FOR INCLUSION OF APPARATUS FOR CONTROL OF INSULATION AZS-3

Angel Zabtchev

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

ABSTRACT. Investigated causes incorrect operation by the incorporation of mining equipment for the control of isolation AZS-3. Some are operational timing diagram of current and duration of the transition process in three voltage. It is shown how to avoid false triggering by artificially holding in the inclusion of the output relay.

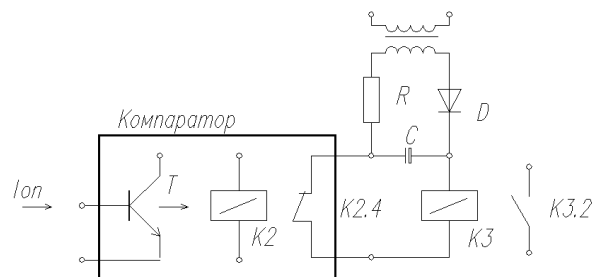
Въведение

От практиката по поддържане, ремонт и експлоатация на рудничните апарати за защитно изключване е установено, че някои апарати тип АЗШ-3 се задействат при включване на захранването, без да има външна причина за това. Такава причина би могла да бъде понижаваната стойност на изолационното съпротивление, което се контролира. Когато обаче изолационното съпротивление е нормално, а апаратът се задейства при включване на захранването причината трябва да се търси в преходния процес. Той протича в рамките на 0,5 секунди докато се установят всички захранващи напрежения и състояния на транзисторите и релетата в електронния блок. При наличие на външно захранващо напрежение (127V-в режим АЗШ-1), което се подава на апарата преди той да бъде включен към контролираната мрежа този проблем не възниква.

На фиг.1 е представена опростена блокова схема на апарата, която съдържа компаратора на ток и изходната верига. Оперативният ток I_{on} се определя от оперативното напрежение и изолационното съпротивление на трифазната мрежа: $I_{on} = U_{on} / R_{из}$. Към действителната стойност на изолационното съпротивление успоредно е включено едно съпротивление от **200kΩ**, което служи за контрол на заземяването и изправността на апарата.

На изхода на компаратора виждаме контакта К 2.4. Той се управлява от бобината К2 и е нормално затворен. При оперативен ток между 1mA и 4mA компараторът захранва бобината К2 и контактът К2 се отваря. Ако изолационното

съпротивление намалява токът I_{on} расте докато достигне една прагова стойност (4mA), когато контактът К2.4 се затваря в изходната верига. Изходната верига се състои от този контакт, захранващия кондензатор С и бобината К3 на изходния контакт на апарата К3.2. Затварянето на изходния контакт води до мигновено изключване на прекъсвача на захранването.

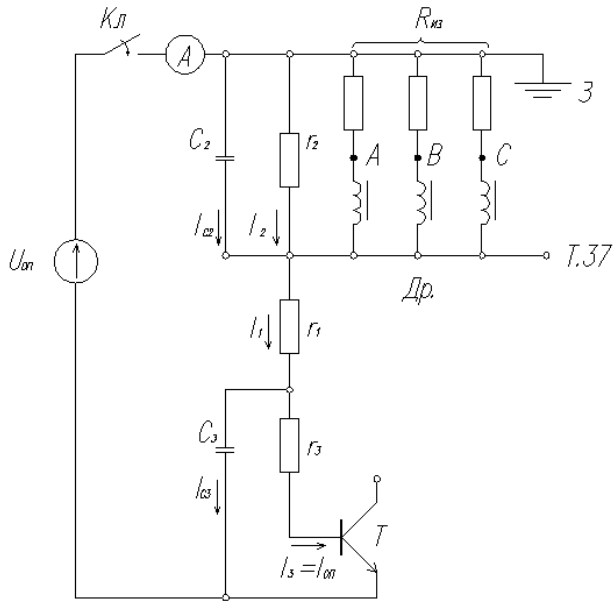


фиг.1

При нормални обстоятелства това означава, че изолационното съпротивление е спаднало под допустимото (12kΩ при 380V; 20kΩ при 660V; 50kΩ при 1000V) или е възникнало земно късо съединение на една от фазите.

При включване на захранването и нормални стойности на изолационното съпротивление, както казахме, по време на преходния процес е възможно изходният контакт К3.2 да се затвори преди контактът К2.4 да се е отворил. Това налага да се изследва преходния процес, което включва: определяне на времедиаграмата на тока I_{on} ; определяне на токовете и времената на задействане на релетата К2 и

К3; определяне на времеконстантата на RC групата в захранването на релето К3.



фиг.2

Изследване на преходния процес

За да е по-удобно изследването на преходния процес и определяне на времедиagramата на тока I_{on} на фиг.2 сме съставили опростена схема на апарата АЗШ-3. Токът, който ще изследваме I_{on} протича през съпротивлението r_3 и базата на входния транзистор на компаратора (фиг.1). На схемата, за да спазим индексите на отделните клонове, този ток е означен с I_3 ($I_3 = I_{on}$). Показани са трите изолационни съпротивления между фазите А, В, С и земя; трифазният присъединяващ дросел Др.; източникът на оперативное напрежение U_{on} ; филтровите кондензатори C2 и C3.

В установен режим оперативния ток се определя от израза $I_{on} = U_{on} / (r_1 + r_2 + r_3)$ при направено допускане, че изолационното съпротивление е равно на безкрайност.

При пълна симетрия, трифазният дросел Др. служи като блокиращ филтър за променливата съставка т.е. в звездния център (т. 37) липсва променлива съставка на напрежението спрямо земя. При наличие на несиметрия, в т. 37 присъства минимална променлива съставка, която се налага да бъде допълнително подтисната чрез кондензаторите C2 и C3.

Съставяме осем уравнения според схемата от фиг.2.

$$u = u_1 + u_2 + u_3 \quad (1)$$

$$u_1 = r_1 I_1 \quad (2)$$

$$u_2 = r_2 I_2 \quad (3)$$

$$I_{c2} = C_2 \frac{du_2}{dt} \quad (4)$$

$$u_3 = r_3 I_3 \quad (5)$$

$$I_{c3} = C_3 \frac{du_3}{dt} \quad (6)$$

$$I_1 = I_2 + I_{c2} \quad (7)$$

$$I_1 = I_3 + I_{c3} \quad (8)$$

Изразяваме петте неизвестни тока:

$$I_1 = \frac{u_1}{r_1} = \frac{u - u_2 - u_3}{r_1}, \quad I_2 = \frac{u_2}{r_2},$$

$$I_3 = \frac{u_3}{r_3}, \quad I_{c2} = C_2 \frac{du_2}{dt} \quad \text{и} \quad I_{c3} = C_3 \frac{du_3}{dt}$$

и ги замества в уравнения (7) и (8).

Достигаем до следната система от две диференциални уравнения с две неизвестни:

$$r_1 r_2 C_2 \frac{du_2}{dt} + (r_1 + r_2) u_2 + r_2 u_3 = r_2 u \quad (9)$$

$$r_1 r_3 C_3 \frac{du_3}{dt} + (r_1 + r_3) u_3 + r_3 u_2 = r_3 u \quad (10)$$

Изразяваме напрежението u_2 от 10) и го замества в 9).. Получаваме следното диференциално уравнение от втора степен с неизвестна величина напрежението u_3 :

$$\begin{aligned} & [r_1^2 r_2 C_2 C_3] \frac{d^2 u_3}{dt^2} + \\ & + \left[r_1 r_2 \frac{(r_1 + r_3)}{r_3} C_2 - (r_1 + r_2) r_1 C_3 \right] \frac{du_3}{dt} + \\ & + \left[(r_1 + r_2) \frac{r_1 + r_3}{r_3} - r_2 \right] u_3 = r_1 u \end{aligned}$$

Записваме това д.у. с по-прости коефициенти:

$$a. \frac{d^2 u_3}{dt^2} + b. \frac{du_3}{dt} + c. u_3 = r_1 u$$

Изчисляваме стойностите на коефициентите a, b, c чрез стойностите на елементите от веригата.

$$r_1 = 1,2 k\Omega;$$

$$r_2 = 200 k\Omega;$$

$$r_3 = 16,9 k\Omega;$$

$$C_2 = C_3 = 9 \mu F;$$

$$u = U_{on} = 160 V$$

За тези коефициенти получаваме

$$a = 23,33 \Omega \cdot s^2; b = 4486 \Omega \cdot s; c = 15486 \Omega$$

Решението на д.у. има следния вид:

$$u_3 = u_{3ycm} + u_{3ce},$$

$$\text{където } u_{3ycm} = ur_3 / (r_1 + r_2 + r_3) = 12,4V$$

$u_{3ce} = A_1 \exp(\alpha_1 t) + A_2 \exp(\alpha_2 t)$. Тук α_1 и α_2 са корени на характеристичното уравнение: $a \cdot \alpha^2 + b \cdot \alpha + c = 0$ и имат следните стойности: $\alpha_1 = -3,515s^{-1}; \alpha_2 = -188,8s^{-1}$

Решението на д.у. добива вида:

$$u_3 = 12,4 + A_1 \cdot \exp(-3,515 \cdot t) + A_2 \cdot \exp(-188,8 \cdot t)$$

Определяме коефициентите A_1 и A_2 от началните условия.

$$u_3(0) = 12,4 + A_1 + A_2 = 0;$$

$$\frac{du_3(0)}{dt} = -3,515A_1 - 188,8A_2;$$

$$\frac{du_3(0)}{dt} = \frac{u}{r_1 C_3} = 14815 \quad (\text{от уравнение 10))}$$

$$A_1 = 67,31V; A_2 = -79,71V$$

Окончателно за решението на д.у. получаваме:

$$u_3 = 12,4 + 67,31 \cdot \exp(-3,515 \cdot t) - 79,71 \exp(-188,8 \cdot t)$$

Същото уравнение, записано с времеконстанти, като времето t е изразено в ms :

$$u_3 = 12,4 + 67,31 \cdot \exp\left(\frac{-t}{284}\right) - 79,71 \exp\left(\frac{-t}{5,3}\right).$$

Търсеното напрежение u_3 има една установена съставка (12,4V) отговаряща на напрежението след изтичането на преходния процес и две експоненциални съставки съответно с времеконстанти 284ms и 5,3ms. На фиг.3 тези напрежения са представени графично. Напрежението u_3 има максимум при $t = 22ms$ със стойност 73,44V, след което следва експоненциална крива с времеконстанта 284ms като клони към 12,4V.

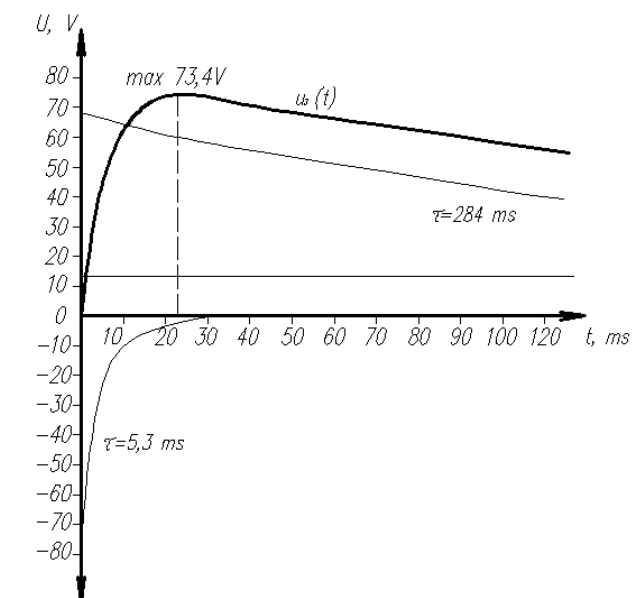
Анализ

Сега след като вече разполагаме с времедиagramата на напрежението u_3 можем да анализираме преходния процес. Входният ток на компаратора (фиг.1) е

пропорционален на напрежението u_3 : и е равен на

$$I_{on} = I_3 = \frac{u_3}{r_3}. \text{ При входен ток, по-голям от праговия ток на}$$

компаратора, бобината на релето K2 се обезточва и контактът K2.4 се затваря. Бобината на релето K3 се захранва, изходният контакт на апарата K3.2 се затваря и изключва захранването на контролираната мрежа. Този процес протича при спадане на изолационното съпротивление под една стандартна прагова стойност.



фиг.3

Стойностите на праговете на изолационното съпротивление, тока и напрежението u_3 при трите мрежови захранващи напрежения са:

$$U = 380V \rightarrow R_{из} = 12k\Omega; I_{on} = 4mA; u_3 = 67,6V$$

$$U = 660V \rightarrow R_{из} = 20k\Omega; I_{on} = 3mA; u_3 = 50,7V$$

$$U = 1000V \rightarrow R_{из} = 50k\Omega; I_{on} = 2mA; u_3 = 33,8V$$

Кривата на напрежението $u_3(t)$ от фиг.3 се пресича от нивото $u_3 = 67,6V$ в две точки при $t_1 = 11,3ms$ и при $t_2 = 56,3ms$. Съответно за нивото $u_3 = 50,7V$ точките на пресичане са $t_1 = 5,6ms$ и $t_2 = 160ms$. За нивото $u_3 = 33,8V$ точките на пресичане са $t_1 = 11,3ms$ и $t_2 = 325ms$.

От тук можем да направим извод за продължителността на преходния процес респективно времето, с което се забавя отварянето на контакта K2.4. Това време е равно на интервала t_2

$$\text{При } U = 380V \rightarrow t_2 = 56ms.$$

$$\text{При } U = 660V \rightarrow t_2 = 160ms.$$

$$\text{При } U = 1000V \rightarrow t_2 = 325ms.$$

Заклучение

Следователно ако искаме да избегнем погрешното задействане на апарата при първоначално включване на захранването трябва да осигурим закъснение на контакта КЗ.2 по-голямо от намерената продължителност на преходния процес t_2 . Това може да се реализира чрез подбор на времеконстантата на RC групата в захранването на релето КЗ, а също така като настроим напрежението на включване на релето КЗ да бъде близко до максималното напрежение на кондензатора С. чрез увеличаване на възвратната сила на механичните му

контакти. Практиката потвърждава, че без тези до-настройки апаратът АЗШ-3 задейства погрешно особено често при захранващо напрежение 1000V.

Литература

Колосюк В.П. Защитное отключение рудничных электро-установ М. Недра 1980
.Аппарат защитного отключения шахтны АЗШ. Паспорт

*Препоръчана за публикуване от
Катедра „Електротехника“, МЕМФ*

СРОК ЗА ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА ВЕРТИКАЛНИТЕ АНОДНИ ЗАЗЕМИТЕЛИ

Стефан Стефанов¹, Теодора Христова²

¹Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, e-mail teodora@mgu.bg

²Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. Определен е срокът на служба на анодите в зависимост от анодния ток. Разгледан е случай при наличие на многопластова почва, като всеки слой е с различно специфично съпротивление. Създадена е методика и са изведени изрази за определяне на срока на служба в многопластова почва. Направено е сравнение и е определена грешката при изчисляване на срока на експлоатация за еднопластова почва и залагане на анода в многопластова почва

THE PERIOD OF SERVICE OF VERTICAL ANODE GROUNDERS

Stefan Stefanov¹, Teodora Hristova²

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

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

ABSTRACT. The report describes determining of the period of service of anodes in dependence on anode current. A case with presence of multilayer soil, each with different specific resistance, is considered. As a first step a test procedure is created, and then expressions for specifying of period of service in multilayer soil is worked out. On the base of comparative analysis the error generated during the computing of period of service for one layer soil as well as during the setting of anode in multilayer soil is determined.

Въведение

Важен етап при проектирането на системата на катодна защита е изчисляването на срока на служба T на анодните заземители съгласно с неговата нормативна стойност T_n (например $T_n=10$ или 20 години). От друга страна, T е обратно-пропорционално на силата на тока I на заземителя и задавайки стойност на T_n , може да се изчисли силата на тока I , да се съпостави с неговата допустима стойност I_{∂} и с общата сила на защитния ток $I_{об.з}$ на заземителя. При това трябва да се изпълни условието $I \leq I_{\partial}$ и $I_n \geq I_{об.з}$, където n е броя на идентичните аноди в заземяването (най-често тръби или цилиндрични прътове с дължина l и външен диаметър D).

Определяне на срока на експлоатация

В редица източници са дадени изрази за определяне на времето T , които са валидни за аноди, поставени в еднослойна и еднородна почва. Така например в [Волков]

$$T = \frac{0.75Q}{I_e q}, \text{ където}$$

Q е масата на електрода, kg;

I_e - токът на електрода, A;

Q – скоростта на разрушаване на материала на електрода, kg/A год;

$$\text{В [Стрижевский]} T = \frac{G_3}{\kappa_n I_{3.a} q_e}, \text{ където}$$

G_3 е масата на метала на заземителя, kg;

κ_n – коефициентът на неравномерност на разтваряне на заземителя, равен на 1,3;

q_e – електрохимичният еквивалент на материала на заземителя, kg/A год;

$I_{3.a}$ – силата на тока, стичащ се по заземителя, A;

$$\text{В [Зобов]} T = \frac{g}{I_a q}, \text{ където}$$

g е масата на анода, kg;

I_a - токът, протичащ през анода, A;

q - електрохимичният еквивалент на материала на анода, kg/A год;

Предвид връзката между тока и срока на служба на анода целесъобразно е за изчисляване на T да се използва зависимостта $Q_{\partial} = I T$, т.е. това време да не се изчислява поотделно, а от посоченото произведение.

Тук Q_d е допустимото количество електричество, което при ток $I = const$, протичащ през анода за време T , определя допустимото намаляване на масата или на диаметъра му.

Най-често изчисляването на Q_d в еднородна почва се извършва с използване на израза [Зобов]:

$$Q_d = IT = \frac{\varepsilon M}{B_e}, \text{ където } M \text{ е масата на анода} \quad (1)$$

B_e – е количество електричество от реакцията на анодното разтваряне на материала на анода.

При изразяване на I_B ампери, M в кг и T в години; то B_e има размерност kg/A год. Величината ε представлява „коefficient на запас“ – допустимата част от масата на анода, която може да бъде изразходена за времето T . Обикновено $\varepsilon=0.7-0.75$ [Инстр 1980]

За целта е удобно разглеждане на величината εM , определена като разлика от изходния D_0 и допустимият краен D_k външен диаметър на заземителя. Изразявайки D_0 , D_k и l в метри, а прътността на материала на анода γ в kg/m^3 , израз (1) придобива вида:

$$Q_d = IT = 0.785 \frac{\gamma l (D_0^2 - D_k^2)}{B_e} \quad (2)$$

Величината на l в уравнения (1) и (2) трябва да удовлетворява съотношението $l \leq j_d \pi D_0 l$, където j_d е допустимата анодна плътност на тока за дадения материал на заземителя.

Стойността на Q_d се изчислява по уравнения (1), (2) и в този случай, когато почвата е нееднородна (т.е. по приетия модел за представяне [5], който се състои от $n \geq 2$ хоризонтални слоеве, в границите на които специфичното съпротивление ρ е постоянно), но целият заземител е разположен в един от слоевете и не пресича границата между тях.

Изчисляването на Q_d се усложнява, ако вертикалният анод е разположен в два или повече слоя на нееднородната почва. В този случай при обикновените преметания на T [4] се изхожда от определяне на тока I_m , стичащ се по тази част L_m на анода, която се намира в слоя от почвата с най-малко специфично съпротивление $\rho_m = \rho_{\min}$. В този участък плътността на анодния ток $j = j_m$ и съответно разхода на материал от анода се счита за най-голям, а изчисленията се провеждат по израза:

$$\frac{I_m}{I} = \frac{l_m}{l} \frac{\rho}{\rho_m}, \text{ откъдето}$$

$$I_m = I \frac{l_m}{l} \frac{\rho}{\rho_m}, \quad (3)$$

където ρ е условното средно специфично съпротивление на почвата (което се използва при изчисляване на съпротивлението R на разтичане на тока на заземителя):

$$\rho = \frac{l}{\sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\rho_i}} \quad (4)$$

Стойността на Q_d се определя по уравнения, аналогични на (1) и (2), където вместо I се замества I_m :

$$Q_d = I_m T = \frac{\varepsilon M}{B_e} \frac{l_m}{l} \quad (5)$$

При това за I_m трябва да бъде изпълнено съотношението $I_m \leq j_d \pi D l_m$

В общия случай може да се запише:

$$Q_d = I T = \frac{\varepsilon M}{B_e} \frac{\alpha_l}{\alpha_i} \quad (6)$$

$$\text{или } Q_d = I T = 0.785 \frac{\varepsilon \gamma \alpha_l l (D_0^2 - D_k^2)}{B_e \alpha_i}, \quad (7)$$

където α_l и α_i са частта от дължината на анода в най-елеткропроводимия слой на почвата и частта на тока, отнасяща се към тази част на анода.

Трябва да се подчертае, че токът I в израза за $Q_d = I T$ се отнася за целия анод, а стойността на T – към най-бързо разтварящата се част на анода, която определя срока на неговата служба. В този случай на еднородна почва или при разполагане на анода в един от слоевете на n -слойната почва $l_m = l$ и уравнения (6) и (7) добиват вида на уравнения (1) и (2).

Съгласно (4) [Коструба] неявно се допуска, че

1) токът от всяка i -та част на анода се разпространява по пътя към защитаваното съоръжение само в съответния i -ти слой на почвата (т.е., че слоевете са разделени с изолиращи подложки)

2) всички слоеве имат крайни дебелини h_i , които са равни на дължините l_i , съответстващи на участъците от вертикалният анод. В действителност токът от всеки i -ти участък на анода се разтича по всички слоеве, а дебелината на най-долния слой от почвата h_n може много

да превишава дължината l_n на влизащата в него част от анода (в частния случай $h_n \rightarrow \infty$).

Тази забележка се отнася и към произтичащите от (3) уравнения (6) и (7) за Q_0 .

За частния случай на двуслойна почва ($n=2$, $h_n = h_2 \rightarrow \infty$) при обикновените изчисления на съпротивлението на разтичане на тока R грешката от посочените допускания в зависимост от конкретните условия може да е както незначителна, така и съществена [Фрейман]. В [Б] Бургсдорф в класическата теория създадена от него за удовлетворително изчисляване на R приема, че разпределението на тока между частите на заземяването l_1 и l_2 съответно в горния и долния слоеве на почвата, е обратно-пропорционално на специфичното съпротивление на слоевете, т.е. $j_1 \approx \frac{1}{\rho_1}$ и $j_2 \approx \frac{1}{\rho_2}$.

Тъй като

$$I_1 \approx j_1 l_1 \approx \frac{l_1}{\rho_1} \quad (8a)$$

$$\text{а } I_2 \approx j_2 l_2 \approx \frac{l_2}{\rho_2} \quad (8b),$$

$$\text{при което } I_1 + I_2 = I \quad (9)$$

$$\text{то } \frac{I_2}{I_1} = \frac{l_2}{l_1} \frac{\rho_1}{\rho_2} = \lambda \quad (10)$$

От (3) следва, че $I_2 = I \frac{l_2}{l} \frac{\rho}{\rho_2}$, от (9) - $I_2 = I - I_1$, а

$$\text{от (10) - } I_1 = I_2 \frac{l_1}{l_2} \frac{\rho_2}{\rho_1}.$$

Тогава $I_2 = I - I_1 = I - I_2 \frac{l_1 \rho_2}{l_2 \rho_1}$, откъдето

$$I_2 = \frac{I}{\left(1 + \frac{l_1 \rho_2}{l_2 \rho_1}\right)} = I \left(1 + \frac{l_1 \rho_2}{l_2 \rho_1}\right)^{-1} = I \frac{l_2 \rho}{l \rho_2}, \text{ при } \rho_2 < \rho_1, \quad (11),$$

$$\text{а } I_1 = I \left(1 + \frac{l_2 \rho_1}{l_1 \rho_2}\right) = I \frac{l_1 \rho}{l \rho_1} \text{ при } \rho_1 < \rho_2 \quad (12)$$

Уравнения (11) и (12) са същността на случаите на уравнение (3) за двуслойна почва. Предполагамото разпределение на токовете съгласно уравненията (8a) и (8b) лежи в основата и на уравнение (3). При това токовете I_1 и I_2 , а също и I_n при $n \geq 3$ се разглеждат като квазиезависими: тяхното отношение λ се взема такова, като че ли частите на заземителя l_1 и l_2 се намират в почвата безкрайно далече една от друга. Такова разпределение на токовете условно се нарича идеално. В действителност частите на заземителя следва да се разглеждат като съединени и близко разположени в почвата резистори R_1 и R_2 , които за сметка на ефекта на взаимното влияние („екраниране“) Олендорф, Бэкман] повишават съпротивлението на разтичане на тока. В резултат на това фактическите токове I'_1 и I'_2 свързани с дължините l_1 и l_2 се отличават от предполагаемите I_1 и I_2 , а съотношението $I'_2/I'_1 = \lambda$ от съотношението (10). Разпределението на токовете, отчитащо ефекта на взаимното влияние, се нарича реално. Освен това, при обикновените изчисления на T се приема, че разпределението на токовете по анода във времето е неизменно. Обаче, поради голямата анодна плътност на тока в участъка l_m (например l_2 при $\rho_2 < \rho_1$) неговият диаметър във времето намалява по-бързо, а отношението I'_2/I'_1 във времето трябва да намалява (временен преразпределение на тока). Макар да съществува слаба (обикновено логаритмична) зависимост на R на заземителя от неговия диаметър D и общо взето малко различаващи се D_0 и D_κ , този ефект не може да е много голям, то неговата количествена оценка е полезна.

Реално разпределение на тока

Ако при отсъствие на ефекта на взаимно влияние съпротивленията на разтичане на токовете по частите l_1 и l_2 са равни на R_1 и R_2 , то при неговото наличие те имат стойности $R'_1 = R_1 F_1$ и $R'_2 = R_2 F_2$. Тук F_1 и F_2 са коефициентите на влияние съответно на долната част на анода върху горната и на горната върху долната. Съпротивлението на разтичане на тока по целия заземител е

$$R = \frac{R_1 F_1 R_2 F_2}{R_1 F_1 + R_2 F_2} \quad (13)$$

Стойностите на R и на R_1 , R_2 се изчисляват по уравненията на Бургсдорф [Б] за различните варианти на разположение на заземителя по отношение на границата, разделяща пластове на двуслойна почва.

Коефициентите F_1 и F_2 в общ вид за сега са неизвестни, но за конкретни ситуации те могат да бъдат изчислени. Уравнението за коефициента на взаимното влияние в общия случай има вида

$$F = 1 + \varphi(x_1, \dots, x_n),$$

където φ е функция на параметрите на системата $(x_1, \dots, x_n)$. В разглеждания случай

$$F_1 = 1 + \varphi_1(\rho_1, \rho_2, l_2, h, t)$$

$F_2 = 1 + \varphi_2(\rho_1, \rho_2, l_1, h, t)$, където t е дълбочината на анода в горния слой на почвата,

а h – разстоянието от повърхността на почвата до границата, която разделя слоевете.

Отчитайки, че стойността на φ е пропорционална на дължината на влияещия заземител, при постоянни ρ_1 , ρ_2 , l_1 , l_2 , h и t може да се запише:

$$\varphi_1 = fl_2 \text{ и } \varphi_2 = fl_1, \text{ където } f = t(\rho_1, \rho_2, h, t).$$

Замествайки в (13) съответните стойности на F_1 и F_2 , се получава

$$R = \frac{R_1(1 + fl_2)R_2(1 + fl_1)}{R_1(1 + fl_2) + R_2(1 + fl_1)}. \quad (14)$$

Заместването в (14) на R_1 , R_2 и R позволява намирането на f при задаване на останалите променливи. След това се изчислява отношението на токовете при реално разпределение

$$\lambda' = \frac{I'_2}{I'_1} = \frac{R'_1}{R'_2} = \frac{R_1(1 + fl_2)}{R_2(1 + fl_1)}, \quad (15)$$

а също и самите токове

$$I'_1 = I(1 + \lambda')^{-1} \quad (16)$$

$$I'_2 = I\lambda'(1 + \lambda')^{-1} \quad (17)$$

При $\rho_2 < \rho_1$ и $\rho_2 > \rho_1$ се получава съответно $I_m = I'_2$ и $I_m = I'_1$, така че за Q_∂ с отчитане на (6) изразя е:

$$Q'_\partial = \frac{\varepsilon M}{B_{изх.е}} \alpha_l \frac{(1 + \lambda')}{\lambda},$$

където $\alpha_l = \frac{l_2}{l}$, при $\rho_2 < \rho_1$ (18)

$$Q''_\partial = \frac{\varepsilon M}{B_{изх.е}} \alpha_l (1 + \lambda'),$$

$$\text{където } \alpha_l = \frac{l_1}{l}, \text{ при } \rho_2 > \rho_1 \quad (19)$$

Съпоставяйки Q''_∂ , изчислено по изрази (18) и (19) и Q'_∂ - по (5) и (7), може да се оцени грешката на обикновения метод за изчисление, основан на идеалното разпределение на токовете.

Животът на анода зависи и от начина на свързване на кабела към него. Параметрите T , T_d и Q_∂ зависят от това, как се подвежда токът към анода – към единия край, към двата края или между тях. Подобен проблем в статията не се разглежда. Той ще бъде предмет на отделно изследване.

Заклучение.

1. За вертикалните анодни заземители в двуслойна почва, пресичащи границата, която разделя слоевете, обикновеният метод за изчисляване срока на служба, допустимата сила на тока и допустимото количество електричество, не отчитат реалното разпределение на тока в слоевете и явленията взаимно влияние на токовете между отделните части на анода, намиращи се в горния и долния край на почвата.

2. В статията е направен анализ на посочените в т.1. недостатъци, изведени са изрази за изчисляване на T , T_d и Q_∂ в двуслойна почва, с използването на които посочените недостатъци до известна степен се избягват.

Литература

- Волков Б. Г., Н. И. Тесов, В. В. Шуванов „Справочник по защите подземных металлических сооружений от коррозии” Л. Недра, Ленинград отд-ние, 1975
- Стрижевский И. В., А. М. Зиневич, К. К. Никольский и други „Защита металлических сооружений от подземной коррозии” Справочник, Москва, Недра, 1981
- Зобов Е. В., В. В. Красноярский „Электрохимическая защита сооружений и оборудования от коррозии”, Кишинев, Картя Молдовенскэ, 1981
- Инструкция по проектированию расчету электрохимических объектов Миннефтегазстрой ВСН-2-106-78, М. ВНИИСТ, 1980
- Коструба С. И. „Измерение электрических параметров земли и заземляющих устройств”, Москва, Энергоатомиздат, 1983
- Фрейман Л. И. Защита металлов, 1996, т.32, №2
- Олендорф Ф., „Токи в земле: Теория заземлений”, Перснем. Год. Науч-техн. издателство, 1932
- Бэкман В., В. Швенк „Катодная защита от коррозии”, Справочник/ пер с нем М. Металлургия, 1984
- Бургсдорф В. В. „Электричество” 1954, №1

ИЗИСКВАНИЯ КЪМ УПРАВЛЕНИЕТО НА ИНФОРМАЦИОННА СИСТЕМА ЗА КОНТРОЛ НА КАТОДНА ЗАЩИТА

Теодора Христова¹, Мила Илиева²

¹Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, e-mail teodora@mgu.bg

²Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. С цел повишаване ефективността на управление на процесите по защита от корозия е нужно да се направи база данни, включваща за методите на защита и субектите, управляващи защитата. Поради многофакторността на задачата са дефинирани изисквания към информационната система от гледна точка на действащите лица.

REQUIREMENT TO THE INFORMATION SYSTEM FOR CONTROL OF CATHODE PROTECTION

Teodora Hristova¹, Mila Ilieva²

¹Mining and Geology University "St. Iv. Rilski", 1700, Sofia, e-mail teodora@mgu.bg

ABSTRACT. For the efficient enhancement of control of protection against the process of corrosion is necessary a construction of data base consistent with the methods for protection and the subjects controlling protection. Because of the multifactoriality of the task several requirements to the information system from the point of view of persons involved are defined.

Въведение

В ерата на екологията, в която доминира концепцията за устойчивото развитие, пред петролния бизнес се очертават три перспективи: непрекъснато ще нараства енергийното търсене и особено търсенето на нефт и газ в развиващите се страни; мерките за регулиране на опазването на околната среда ще оказват съществено влияние върху енергийното търсене; ще се въвеждат по-ефективни технологии с цел намаляване на локалното замърсяване и емисиите на гринхаус газове. Акцентът в последната перспектива се поставя върху по-продължителното и безопасно използване на тръбопроводните инсталации. Един от най-сериозните проблеми пред постигането на тази цел е ефективното управление на корозията.

Основната цел на управлението на корозията е да се удължи живота на подземните комуникации, като се използват различни защитни средства. Защитата на подземните съоръжения най-често се извършва чрез изолационни покрития, използване на инхибитори и чрез електрохимична защита. Електрохимичната защита може да бъде катодна, протекторна или дренажна защита. Ефективността на работата на катодната защита зависи от управлението ѝ.

В практиката липсва цялостен интегриран модел за управление на катодна защита, който да отчете изискванията на всички участници в процеса.

Съществуващите разработки оценяват само вж-данията на мениджър „катодна защита“, на мениджър „информационна ситема“ или на потребител на информацията.

Съществуващите модели за управление обхващат една или две функционални области от жизнения цикъл на обслужването. Това са областите конфигурация, защита, аварии, счетоводство и технически характеристики. За ефективно управление на процеса по защита от корозия е необходимо да се използва унифициран подход за описание и на други функционални области.

Жизненият цикъл на обслужването обхваща и функционални области: проектиране, планиране, инсталация, предоставяне (на информация на по-долно ниво) и достъп от по-долното ниво. Необходимо е те също да се специфицират по унифицирания начин, използван и за другите функционални области.

Ние предлагаме да се създаде база данни за управлението на процесите от корозия. Целта е да се дадат препоръки за подобряване на ефективността на работа на катодната защита. С помощта на такава база ще се автоматизира изборът на система за защита от корозия. Чрез създаването на такава система управлението на процесите по защита ще са съобразени с действащите стандарти. В крайна сметка ефективното управление удължава периода на работа на съоръженията и допринася за безопасния добив и пренос на петрола.

Съществуващата теория за управление е прекалено обща – тя дава само генерални насоки. За да се приложи тя към конкретния обект – „Катодна защита” е необходимо да се разработят:

- архитектура за управление
- услуги за управление
- информация за управление

Тези елементи на управлението трябва да вземат под внимание изискванията на всички участници в процеса.

Поради многофакторност на обекта е необходимо да се приложи обектно-ориентиран подход за проектиране на информацията за управление. Такъв подход осъществява

връзката на всички функционални области в системата за катодна защита.

1. Нива на управление и функционални области

Нивата на управление и функционалните области от жизнения цикъл на управлението са обобщени в **таблица 1**. Ниво „Управление на бизнеса” излиза извън рамките на тази статия. Изследването обхваща управление на информационна система, управление на катодна защита, управление на елементи и елементи по функционални области. Области „Планиране” и „Проектиране” също не се разглеждат, защото те спадат към проучванията и много от функциите им се извършват ръчно.

Таблица 1: Нива на управление и функционални области от жизнения цикъл на управлението

Функц. Обл. Нива на упр.	Инстали- ране	Предо- ставяне	Конфигу- рация	Защита	Поддържане	Осчетоводяване	Техн. х-ки	Достъп от по-долно ниво
Управление на бизнеса								
Управление на ИС								
Управление на катодна защита								
Управление на елементи								
Елементи								

Най-напред трябва да се проектира архитектурата за управление. Тя се основава на изискванията към управлението.

За да се дефинират изискванията, трябва да се приложи теорията на множествата.

2. Приложение на теория на множествата за дефиниране на изисквания към информационната система

Условията на работа на системата за управление на интелигентна мрежа се определят от няколко вида действащи лица:

- Мениджър «елементи»
- мениджър «катодна защита»,
- мениджър «информационна система»,
- потребител «информационна система».

За всяко действащо лице трябва да се синтезират услуги за управление. Изискванията на действащите лица към съответната услуга за управление се синтезират чрез теорията на множествата. Множествата с изисквания на действащите лица се означават както следва:

- R - Множество с изисквания към цялата система;
- Rme – Множество с изисквания на мениджър «Елементи»;
- Rmkz - Множество с изисквания на мениджър «Катодна защита»;

- Rmis - Множество с изисквания на мениджър «Информационна система»;

- Ruis - Множество с изисквания на потребител «Информационна система»;

Тогава според теорията на типовете може да се напише:

$$R = Rme \cup Rmkz \cup Rmis \cup Ruis$$

и $Ruis \subset Rmis \subset Rmkz \subset Rme$

Между множествата с изисквания на участниците в управлението съществува инекция:

Конкретните изисквания към управлението са:

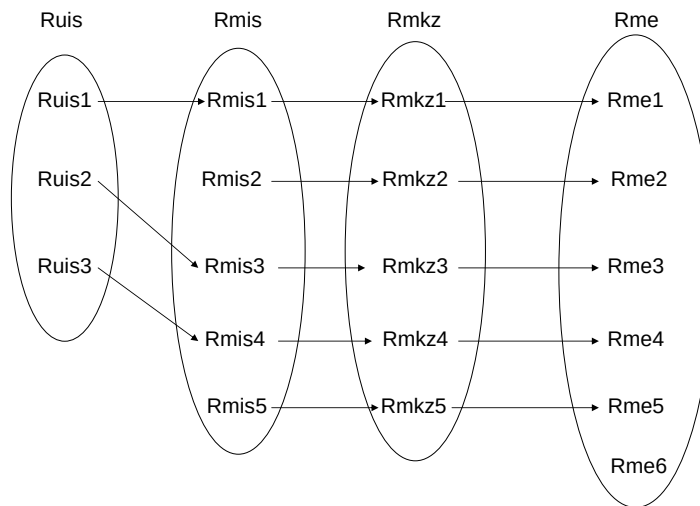
- Ruis – изисквания на потребител «Информационна система»:

- Ruis1 – Изисквания за визуализация на управлението на Информационна система; Реализират се чрез функции за управление на профил на потребител.

- Ruis2 – Изисквания за взаимодействие между функционалните области; Реализират се чрез взаимодействия между функциите за управление на профил на потребител.

- Ruis3 – Изисквания за взаимодействия между ниво управление на Информационна система и ниво управление на Катодна защита; Реализират се чрез взаимодействия между функциите за управление на Информационна система, предоставени на потребителя, и функциите за управление на Катодна защита, предоставени на мениджър Катодна защита.

- Rmis – изисквания на мениджър «Информационна система» (ИС) към управление на информационна система:



Фиг. 1: Инекция между елементите на множества с изисквания на участниците в управлението

- Rmis1 - Изисквания за визуализация на управлението на информационна система; Реализират се чрез функции за управление на ИС, предоставени на мениджър ИС по функционални области.

- Rmis2 - Изисквания за автоматични взаимодействия с подчинени участници – потребители; Реализират се чрез взаимодействия между функции за управление на информационна система от мениджър “Информационна система” и функции за управление на профил на потребител.

- Rmis3 - Изисквания за взаимодействие между функционалните области; Реализират се чрез взаимодействия между функциите за управление на информационна система.

- Rmis4 - Изисквания за взаимодействия между ниво управление на информационна система и ниво управление на катодна защита; Реализират се чрез взаимодействия между функциите за управление на информационна система, предоставени на мениджър “Информационна система”, и функциите за управление на катодна защита, предоставени на мениджър “катодна защита”.

- Rmis5 – Изисквания за взаимодействия между ниво управление на информационна система и ниво управление на елемент; Реализират се чрез взаимодействия между функции за управление на информационна система, предоставени на мениджър “Информационна система”, и функции за управление на елемент, предоставени на мениджър “Елементи”

- Rmkz – изисквания на мениджър “катодна защита” към управление на катодна защита:

- Rmkz1 – Изисквания за визуализация на управлението на катодна защита; Реализират се чрез функции за управление на катодна защита, предоставени на мениджър “катодна защита”, по функционални области.

- Rmkz2 – Изисквания за автоматични взаимодействия с подчинени участници – мениджъри; Реализират се чрез взаимодействия между функции за управление на катодна защита от мениджър “катодна защита” и функции за управление на ИС, предоставени на мениджър “информационна система”.

- Rmkz3 – Изисквания за взаимодействия между функционалните области; Реализират се чрез взаимодействия между функциите за управление на профил на катодна защита.

- Rmkz4 – Изисквания за взаимодействия между ниво управление на катодна защита и управление на елемент; Реализират се чрез взаимодействия между функции за управление на катодна защита и функциите за управление на елемент.

- Rmkz5 – Изисквания за взаимодействия между ниво управление на катодна защита и ниво елемент; Реализират се чрез взаимодействия между функции за управление на катодна защита и функции, представящи елементи.

- Rme – изисквания на мениджър “Елемент” към управление на елемент:

- Rme1 – Изисквания за визуализация на управлението на елемент; Реализират се чрез функции за управление на елемент.

- Rme2 – Изисквания за автоматични взаимодействия с други нива (управление на система за пренос и управление на информационна система); Реализират се чрез взаимодействия между функции за управление на елемент, предоставени на мениджър “Елемент”, и функции за управление, предоставени на потребител на информационна система и на мениджър на система за пренос.

- Rme3 – Изисквания за взаимодействия между функционалните области; Реализират се чрез взаимодействия между функциите за управление на мрежов елемент.

- Rme4 – Изисквания за взаимодействия между ниво управление на елемент и ниво “елемент”; Реализират се чрез взаимодействия между функции за управление на елемент и функции за представяне на елемент.

- Rme5 – Изисквания за взаимодействия между управление на елемент и единица в елемент; Реализират се чрез взаимодействия между функции за управление на елемент и функции, представящи единици в елемент.

- Rme6 – Изисквания за взаимодействия между елементите; Реализират се чрез взаимодействия

между функциите за управление на достъпа до елементите.

На базата на изискванията на участниците в управлението могат да се дефинират функции за управление. Тези функции представляват услугите за управление. Необходимо е да се приложи унифициран език за моделиране (UML – Unified Modeling Language). Диаграмите в UML са класифицирани в две категории: диаграми на поведение, описващи работата на системата, и диаграми на структура, описващи елементите на системата. От диаграмите на поведение могат да се използват диаграми на случаи на използване за синтезиране на функциите, предоставени на действащите лица. От диаграмите на структура могат да се използват диаграми на класове за дефиниране на класове управлявани обекти в моделите за управление на информационна система и катодна защита. Класовете управлявани обекти представят информацията за управление.

Изводи

- Синтезирани са изисквания към управлението на информационна система за регулиране на параметрите на катодна защита, съответстващи на отговорностите на всяко от действащите лица. Класифицирани са изисквания от гледна точка на: мениджър “информационна система” и потребител “информационна система”.
- Синтезирани са изисквания към управление на катодна защита и елементи на катодна защита, съответстващи на отговорностите на всяко от действащите лица. Класифицирани са изисквания от гледна точка на: мениджър «катодна защита» и мениджър «Елементи».
- Въз основа на изискванията към управлението на информационна система могат да се моделират функции за управление от високо ниво, като се обхванат всички функционални области на управление: инсталиране на информационна система, предоставяне на информационна система, конфигурация на информационна система, поддържане на информационна система, защита на информационна система, осчетоводяване на информационна система, технически характеристики на информационна система и достъп от по-ниско ниво.

- На базата на изискванията към управлението на катодна защита и нейните елементи могат да се моделират функции за управление от високо ниво, като се вземат под внимание всички функционални области на управлението: инсталиране на катодна защита, предоставяне на катодна защита, конфигурация на катодна защита, поддържане на катодна защита, защита на катодна защита, осчетоводяване на катодна защита, технически характеристики на катодна защита и достъп от по-ниско ниво.
- На базата на функциите за управление могат да се дефинират класове управлявани обекти.
- Предстои разширяването на модела с икономическа оценка на ефективността на управлението на катодната защита.

Литература

- Илиева, М., Пенчева, Е., “Изисквания за моделиране на информационни системи”, Национална конференция с международно участие -Телеком’98, 1998, Варна, Сборник с доклади, том 1, стр.480-489
- Илиева, М.: “Проектиране на информационни системи”, IV International Scientific Conference “Management and Engineering’06” Sozopol, Bulgaria, 2006, Scientific Proceedings of the scientific-technical union of mechanical engineering, Volume 2, pp.363-365
- Христова, Т., „Управление на корозията на петролопроводите в условията на устойчиво развитие», Сп. Минно дело и геология, бр10, 2008 г., стр 40-44
- Neil G. Thompson, "Gas and liquid transmission pipelines", "Summary Analysis of Results", Corrosion Control and Prevention, CC Technologies, Inc, Dublin, Ohio, 2003, www.corrosioncost.com/pdf/gasliquid.pdf

*Препоръчана за публикуване от
Катедра „Електротехника”, МЕМФ*

МАТЕМАТИЧЕСКО МОДЕЛИРАНЕ И АНАЛИЗ НА ЗАЗЕМТЕЛИ С ПРОВОДИМА БЕТОННА ОБМАЗКА

Георги Велев ¹, Петър Петров ²

¹ Технически университет – Габрово, 5300 Габрово, g_velev@tugab.bg; g.velev@gmail.com

² Технически университет – Габрово, 5300 Габрово, petrov_p_tu@abv.bg

РЕЗЮМЕ. През последните две години на базата на сътрудничеството между Технически университет – Габрово и МГУ „Св. Иван Рилски“ са разработени и изследвани физически заземители с проводима бетонна обмазка за приложение при откритите рудници в нашата страна, основно с цел защита на металния електрод от агресивна среда и интензивна електрокорозия както и за намаляване на съпротивлението на заземяване в зони с високи стойности на специфичното обемно съпротивление на почвата. Всичко това налага пълно математическо моделиране на този вид нетрадиционни за инженерната практика заземители. Изведените и публикувани в тази статия изчислителни зависимости за изчисляване съпротивлението на единични хоризонтални и вертикални заземителни електроди в слой проводящ бетон ще дадат възможност за бързото навлизане на този тип заземители в българската практика и до разработването на цялостни методики и програмни продукти за оразмеряване на заземителни уредби от този тип.

MATHEMATICAL MODELLING AND ANALYSIS OF CONDUCTIVE CONCRETE ENCASED GROUNDING ELECTRODES

Georgi Tsonev Velevev ¹, Petar Kolev Petrov ²

¹ Technical University of Gabrovo, 5300 Gabrovo, g_velev@tugab.bg; g.velev@gmail.com

² Technical University of Gabrovo, 5300 Gabrovo, petrov_p_tu@abv.bg

ABSTRACT. Over the last two years of co-operation between the Technical University of Gabrovo and the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", physical instances of conductive concrete encased grounding electrodes has been developed and investigated for application in the outdoor mines in our country, mainly aiming electrode protection from aggressive soils and electro corrosion. Other purpose is decreasing the grounding installation resistance for areas with high values of the soil resistivity. All above demands entire mathematical modeling of these untraditional for the engineering practice grounding electrodes. The mathematical expressions for calculating the grounding resistance of single horizontal and vertical grounding electrodes incased in concrete, worked out and published inhere will allow for their fast implementation in the Bulgarian grounding practice and for development of overall sets of methods and software products for such type grounding installations' design..

Въведение

Изкуствените заземители се изработват най-често от стомана. Правени са опити да се използват мед или други метали, но не са се получили задоволителни резултати. Стоманените заготовки, които се използват за изкуствени заземители (тръби, пръти, ъглова стомана, лента) се поцинкуват с цел предпазване от корозия. При монтажа, а и с течение на времето се получават нарушения на корозоустойчивото покритие и започва интензивна корозия. Този процес е особено интензивен в химически агресивни почви или при наличие в близост на електрифициран релсов транспорт (Анев и Данев, 1996; Манойлов, 1986).

От всичко това се вижда, че е актуален въпросът за максимално удължаване на живота на заземителя. В МГУ "Св. Иван Рилски" и Технически университет Габрово се изследва възможността за създаване на проводими обмазки на циментена основа. С нея успешно могат да се правят заливки на поцинкуваните заготовки за изкуствени заземители и по този начин те да бъдат предпазени от нежелани увреждания. Разработена е технология, позволяваща извършване на тази процедура от техническия персонал по места (Петров и Велев, 2007).

Прилагането на предложеното техническо решение поставя за решаване следния проблем, имащ отношение към оразмеряване на конкретен заземител или заземителна инсталация: необходимост от аналитична зависимост, позволяваща определяне стойността на съпротивлението за единичен заземител в слой проводящ бетон при условие, че са известни неговите основни размери и параметри.

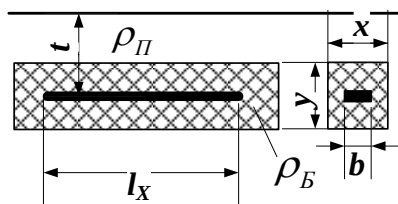
Аналитични зависимости за определяне съпротивлението на единични заземители с проводима бетонна обмазка

Хоризонтални заземители

При хоризонталните заземители с проводима бетонна обмазка е използван подход за извеждане на аналитичен израз за съпротивлението на заземяване съгласно предписанията на международния стандарт IEEE Std. 80 – 2000 - стандарт за безопасност при защитно заземяване на подстанции за променлив ток, в сила от 30 януари 2000 г., според който изведеното съпротивление представлява сума от две съставлящи: (1) съпротивление на заземяване на тялото образувано от проводимия бетон, приемайки

че специфичното му съпротивление е безкрайно малко;
(2) съпротивление на заземяване на електрода, поставен в среда проводящ бетон, с крайни размери.

Използвайки гореспоменатата методика са изведени крайни изрази за съпротивлението на заземяване на хоризонтален заземител от лентов тип съгласно фиг. 1:



Фиг. 1. Основни размери и параметри на хоризонтален заземител от лентов тип с еднослойна бетонова обмазка

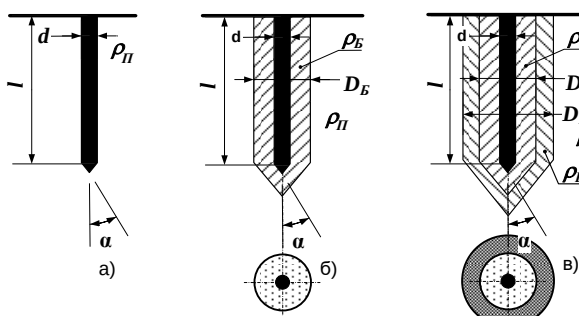
$$R_x = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot l} \left(\rho_{\Pi} \ln \frac{\pi l^2}{2(x+y)t} + \rho_B \cdot \ln \frac{2l^2}{b \cdot t} - \rho_B \ln \frac{\pi l^2}{2(x+y)t} \right), \Omega \quad (1)$$

Получена е и опростената зависимост (2), която е удобна за прилагане в практиката:

$$R_x = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot l} \left(\rho_{\Pi} \ln \frac{\pi l^2}{2(x+y)t} + \rho_B \cdot \ln \frac{(x+y)}{b} \right), \Omega \quad (2)$$

Вертикални заземители

При вертикалните заземители е използван интегралният подход при цилиндрична симетрия за определяне на аналитичен израз за съпротивлението на вертикален заземител от конвенционален тип – зависимост (3). Цилиндричната симетрия позволява получаването на крайни изрази за изчисляване съпротивлението на вертикален заземител с един (4) и два концентрични слоя проводима бетонна обмазка (5) съгласно фиг. 2 отчитайки заострянето на металния електрод.



Фиг. 2. Графично представяне на вертикален заземител: а) от конвенционален тип; б) с еднослойна обмазка; в) с двуслойна обмазка

$$R_B = \frac{\rho_{\Pi} \cdot \tan \alpha}{\pi \cdot m} \ln \frac{d+2m}{d}, \Omega \quad (3)$$

$$R_{B1} = \frac{\tan \alpha}{\pi \cdot m} \left[\rho_B \ln \frac{(d+2m)D_B}{d(D_B+2m)} + \rho_{\Pi} \ln \frac{D_B+2m}{D_B} \right], \Omega \quad (4)$$

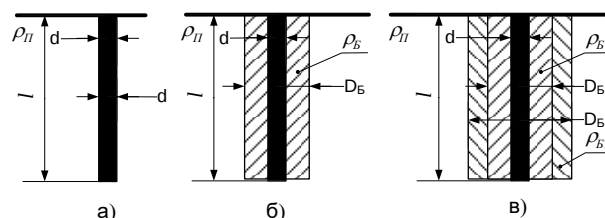
$$R_{B2} = \frac{\tan \alpha}{\pi \cdot m} \left[\rho_{B2} \ln \frac{(D_{B1}+2m)D_{B2}}{D_{B1}(D_{B2}+2m)} + \rho_{B1} \ln \frac{(d+2m)D_{B1}}{d(D_{B1}+2m)} + \rho_{\Pi} \ln \frac{D_{B2}+2m}{D_{B2}} \right], \Omega \quad (5)$$

, където $m = 2 \cdot l \cdot \tan \alpha$

Аналогични крайни зависимости за съпротивлението на вертикален заземител в един (7) и два (8) концентрични слоя проводим бетон са изведени и на базата на зависимост (6), получена по метода на огледалните образи и електростатичната аналогия.

$$R_B = \frac{\rho_{\Pi}}{2\pi l} \left\{ \ln \frac{4l}{d} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{d}{4l} \right)^2} \right) + \frac{d}{4l} - \sqrt{1 + \left(\frac{d}{4l} \right)^2} \right\}, \Omega \quad (6)$$

Въз основа на (6) и предписанията в международният стандарт IEEE Std. 80-2000 са изведени зависимости (7) и (8).



Фиг. 3. Графично представяне на вертикален заземител, математически моделиран с помощта на метода на огледалните образи: а) конвенционален заземител; б) с еднослойна обмазка; в) с двуслойна обмазка

$$R_{B1} = \frac{\rho_B}{2\pi l} \left\{ \ln \frac{4l}{d} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{d}{4l} \right)^2} \right) + \frac{d}{4l} - \sqrt{1 + \left(\frac{d}{4l} \right)^2} \right\} + \frac{\rho_{\Pi} - \rho_B}{2\pi l} \left\{ \ln \frac{4l}{D_B} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{D_B}{4l} \right)^2} \right) + \frac{D_B}{4l} - \sqrt{1 + \left(\frac{D_B}{4l} \right)^2} \right\}, \Omega \quad (7)$$

$$R_{B2} = \frac{\rho_{B1}}{2\pi l} \left\{ \ln \frac{4l}{d} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{d}{4l} \right)^2} \right) + \frac{d}{4l} - \sqrt{1 + \left(\frac{d}{4l} \right)^2} \right\} + \frac{\rho_{B2} - \rho_{B1}}{2\pi l} \left\{ \ln \frac{4l}{D_{B1}} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{D_{B1}}{4l} \right)^2} \right) + \frac{D_{B1}}{4l} - \sqrt{1 + \left(\frac{D_{B1}}{4l} \right)^2} \right\} + \frac{\rho_{\Pi} - \rho_{B2}}{2\pi l} \left\{ \ln \frac{4l}{D_{B2}} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{D_{B2}}{4l} \right)^2} \right) + \frac{D_{B2}}{4l} - \sqrt{1 + \left(\frac{D_{B2}}{4l} \right)^2} \right\}, \Omega \quad (8)$$

Използваните означения в горните математически зависимости са както следва:

ρ_B – специфично съпротивление на проводимия бетон

при еднослойно обмазани заземители, $\Omega \cdot \text{m}$;

ρ_{Π} – специфично съпротивление на почвата, $\Omega \cdot \text{m}$;

l – дължина на вертикалния заземителя, m ;

d – диаметър на вертикалния електрод, m ;

D_B – външен диаметър на проводимата бетонова обмазка при еднослойно обмазан вертикален заземител, m ;

α – половината от ъгъла на заостряне при върха на вертикалния електрод, deg;

$\rho_{Б1}$ – специфично съпротивление на вътрешния слой проводящ бетон контактуващ непосредствено с металния електрод при вертикален заземител в два концентрични слоя проводящ бетон, $\Omega \cdot m$;

$\rho_{Б2}$ – специфично съпротивление на външния слой проводящ бетон контактуващ непосредствено с почвата при вертикален заземител в два концентрични слоя проводящ бетон, $\Omega \cdot m$;

$D_{Б1}$ – външен диаметър на вътрешния слой проводящ бетон контактуващ непосредствено с металния електрод при вертикален заземител в два концентрични слоя проводящ бетон, m;

$D_{Б2}$ – външен диаметър на външния слой проводящ бетон контактуващ непосредствено с почвата при вертикален заземител в два концентрични слоя проводящ бетон, m;

l_x – дължина на хоризонталния лентов заземител, m;

x – ширина на слоя проводим бетон (ширина на канала, в който е положен хоризонталния електрод), m;

y – дебелина на слоя проводящ бетон, в който е положен хоризонталния електрод, m;

t – дълбочина на полагане на лентовия заземител, под нивото на земята, m.

Оценка, точността на получените зависимости

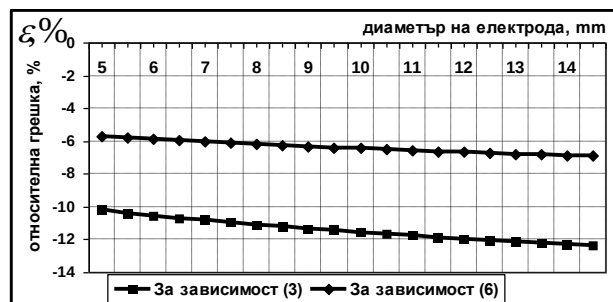
Оценката точността на изведените зависимости за изчисляване съпротивлението на заземители с проводима бетонна обматка е направена само за вертикалните заземители, тъй като при хоризонталните електроди няма утвърдени от практиката и теорията математически изрази като база за сравнение.

1 случай – конвенционален вертикален заземител

За оценка грешката, която се допуска при определяне съпротивлението на вертикален заземител по (3) и (6) ще се позовем на конкретен пример и няколко случая, при които се изменя един от геометричните параметри на заземителя, а останалите са фиксирани. Като базова зависимост за сравняване на резултатите е използвана утвърдената от практиката зависимост (9):

$$R_B = \frac{\rho_{\Pi}}{2 \cdot \pi \cdot l} \ln \frac{4l}{d}, \Omega \quad (9)$$

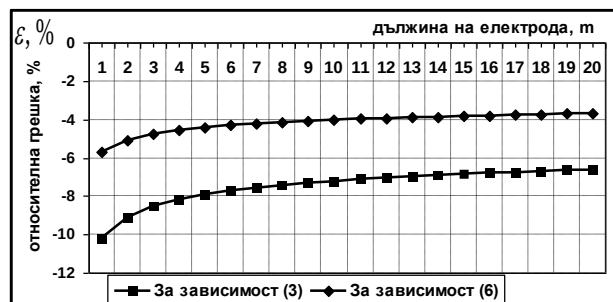
Тъй като специфичното съпротивление на почвата в трите зависимости представлява коефициент на пропорционалност, този параметър ще бъде фиксиран със стойност $\rho_{\Pi} = 100 \Omega \cdot m$, тъй като неговото изменение не води до промяна на отчетената относителна грешка. Примерните размери на електрода са: дължина $l = 1 \text{ m}$, диаметър $d = 20 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, половината от ъгъла на заостряне при върха на заземителя $\alpha = 30^\circ$. Изследванията са извършени с помощта на програмния продукт Mathcad. Резултатите за относителната грешка в проценти която се получава използвайки (3) и (6) са систематизирани графично на фиг. 4 и фиг. 5



Фиг. 4. Относителна грешка в проценти на изведените зависимости за определяне съпротивлението на конвенционален вертикален заземител при изменение на диаметъра на електрода d

От фиг. 4 и фиг. 5 могат да бъдат направени следните изводи:

- средните грешки при използване на зависимости (3) и (6) са 9,46 % и съответно 5,28 %, които са напълно допустими при проектантската дейност;
- грешките са отрицателни, което ще доведе до по-малък разход на метал при проектирането на заземителните уредби използвайки (3) и (6);



Фиг. 5. Относителна грешка в проценти на изведените зависимости за определяне съпротивлението на конвенционален вертикален заземител при изменение на дължината на електрода l

- точността на зависимостите се гарантира в следствие на използвания точен математически апарат, прилагане директно законите на теоретичната електротехника и липса на приближения и опростяване на изразите;
- При използване на (3) се отчита и заострянето на електрода, което води до допълнително намаляване на изчисленото съпротивление, в следствие на което се обяснява и по-голямата отрицателна грешка в сравнение с (6), където заострянето на заземителя се пренебрегва;

2 случай – вертикален заземител с еднослойна проводима бетонна обматка

За оценка акуратността на изведените зависимости (4) и (7) като база за сравнение ще бъде използвана зависимост (10), която е посочена в международния стандарт IEEE Std. 80-2000:

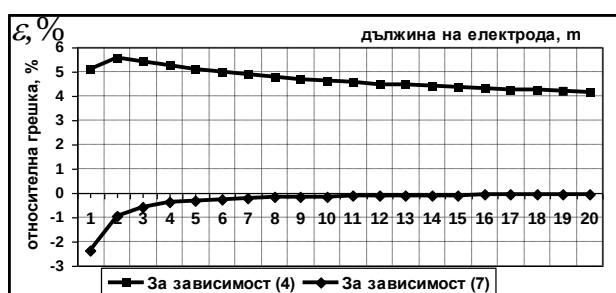
$$R_3 = \frac{1}{2\pi l} \left(\rho_B \left[\ln \left(\frac{D_B}{d} \right) \right] + \rho_{\Pi} \left[\ln \left(\frac{8l}{D_B} \right) - 1 \right] \right), \Omega \quad (9)$$

Математическите пресмятания са извършени отново в средата Mathcad, като за диаметър на обматката е прието

$D_5 = 0,3 \text{ m}$, а за специфичното ѝ съпротивление $\rho_5 = 15 \Omega \cdot \text{m}$, като резултатите са представени графично на фиг. 6 и фиг. 7.



Фиг. 6. Относителна грешка в проценти на изведените зависимости за определяне съпротивлението на вертикален заземител с един концентричен слой проводящ бетон при изменение на диаметъра на електрода d



Фиг. 7. Относителна грешка в проценти на изведените зависимости за определяне съпротивлението на вертикален заземител с един концентричен слой проводящ бетон при изменение на дължината на електрода l

От фиг. 6 и фиг. 7 може да се направят следните изводи:

- грешката, която се допуска използвайки изведената зависимост (4) при изменение на диаметъра на заземителя средно е 5,25 % спрямо (10) и почти не се изменя с увеличаване на диаметъра на заземителя, и съответно е 4,7 % при фиксиран диаметър и изменение на дължината на вертикалния заземител. Тоталната осреднена грешка за двата опита при използване на (4) ще бъде $\frac{5,27 + 4,7}{2} = 4,99\%$, която е напълно приемлива при проектирането;
- грешката, която се допуска използвайки изведената зависимост (7) при изменение на диаметъра на заземителя средно е 2,47 % спрямо зависимост (10), и съответно 0,31 % при фиксиран диаметър и изменение

на дължината на вертикалния заземител. Тоталната осреднена грешка при използване на (7) ще бъде $\frac{2,47 + 0,31}{2} = 1,39\%$;

- изчислената грешка от 4,99% при използване на зависимост (4) е напълно допустима и въпросната зависимост може да се използва в проектантската практиката.

Закljučения

- Средната относителна грешка при прилагането на всички получени математически изрази за пресмятане съпротивлението на единични заземители с проводима бетонна обмазка не превишава 10 % във сравнение с широко използвани в практиката зависимости;
- Въз основа на постигнатата точност, може да се твърди със сигурност, че представените в този вид математически зависимости могат да се използват при оразмеряването на заземителни уредби с нетрадиционни заземители от посочения тип, а също така и да се имплементират в специализирани програмни продукти за проектиране на заземителни уредби;
- Така разработеният пълен математически модел на заземители с проводима бетонна обмазка би могъл да допринесе за по-бързото популяризиране и въвеждане в експлоатация на заземителите в проводящ бетон.

Литература

- Анев, Г., Ив. Данев. 1996. *Електробезопасност в откритите рудници и в индустрията*, ЕТ Накра, гр.Раднево
- Манойлов, В.Е. 1986. *Основы электробезопасности*, Энергия, Ленинград.
- 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.
- IEEE Std. 80-2000. January 2000. *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*, IEEE-SA Standards Board
- Chow, Y. L., M. Elsherbiny, M. Salama. July 1996. *Resistance formulas of grounding Systems in Two-Layer Earth*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 11, no. 3,

Препоръчана за публикуване
от Редакционен съвет

ASPECTS OF THE OPERATION IN CHARGE OF ELECTRICAL TRANSFORMERS

Cristinel Popescu¹, Luminița Georgeta Popescu², Vasile Cozma³

¹University "Constantin Brâncuși" din Tg-Jiu E-mail: cristi67pop@yahoo.com

²University "Constantin Brâncuși" din Tg-Jiu E-mail: luminita@utgjiu.ro

³University "Constantin Brâncuși" din Tg-Jiu

ABSTRACT: Electrical transformer represent the crucial electrical device in the process of converting electricity to different voltage level in electrical transformer and power distribution stations that are part of the National Energy System.

НЯКОИ АСПЕКТИ ПРИ РАБОТА НА ЕЛЕКТРОТРАНСФОРМАТОРИТЕ

Кристинел Попеску¹ Луминита Попеску², Василе Козма³

¹ Университет „Константин Бранкуши“, Търгу Жиу, Румъния E-mail: cristi67pop@yahoo.com

² Университет „Константин Бранкуши“, Търгу Жиу, Румъния E-mail: luminita@utgjiu.ro

³ Университет „Константин Бранкуши“, Търгу Жиу, Румъния

РЕЗЮМЕ: Статията предоставя информация за някои особености на електротрансформаторите и тяхната функция като основни електрически устройства за промяна нивата на напрежение в рамките на електростанции и разпределителни системи. Проблемите са описани от гледна точка на Националната енергийна система на Румъния.

1. Introduction

Electrical transformers can have two or more windings, electrically insulated between them, for changing levels of tension in the transport, distribution and use of electricity. Of the electrical transformers used in power stations and posts, one of the largest use represents the two-winding transformers. This category with two windings has the characteristic that high voltage winding has a greater number of turns and winding low tension has a smaller number of turns. At the free ends of the windings of transformers are different voltage lines connecting. Between them, the power transformer transfer is done by induction, due to the magnetic coupling between windings. The power transferred by induction between windings is called internal power transformer. This paper aims to explain the electrical system which has connected to secondary winding a consumer with the impedance Z_s .

2. Operation analysis of a transformed electric load

When at the terminals of the secondary winding transformer is connected ZS-facilitates consumer, it passes through the current i_2 , which is phase-uncle to the secondary voltage u_2 angle (fig.1) It is now our attention the transition process from electrical transformer load operation to load operating system. When the transformer is operating under load $i_2 \neq 0$, and

about known it can be assumed that the voltage U_1 is fully balanced by fear e_1 , $\underline{U}_1 \approx -\underline{E}_1$.

ZS consumer connect through the transformer secondary winding current i_2 passes, which creates t.m.m. $w_2 i_2$, which carries the Lenz principle of reverse magnetic action. T.m.m $w_2 i_2$ tends to create magnetic flux in magnetic core mutual induction, directed opposite to the basic magnetic flux, Φ_0 the current i_{10} excited. Reverse the effect of magnetic action, in the first stage of operation of the processor load, the basic magnetic flux Φ_0 is reduced. Due to this reduction in flow Φ_0 , is reduced the t.e.m. induced e_1 too. Since the supply voltage $U_1 = \text{const.}$, then $\underline{U}_1 > \underline{E}_1$. Then for this reason, the primary winding current increases from i_{10} to $i_1 > i_{10}$.

i_1 creates t.m.m. $w_1 i_1$, which offsets the action of reverse magnetic of t.m.m. $w_2 i_2$ from the secondary winding. Therefore, the operating system load of the transformer, each secondary current i_2 causes properly the variation change of the primary current i_1 .

If it is agreed that under load, $\underline{U}_1 \approx -\underline{E}_1$ by neglecting the active and reactive voltage drops on the primary winding resistance and reactance, the movement from the no-load operating system to the operating system load, the primary winding current increases such a way as to offset entirely the secondary winding opposite magnetic action.

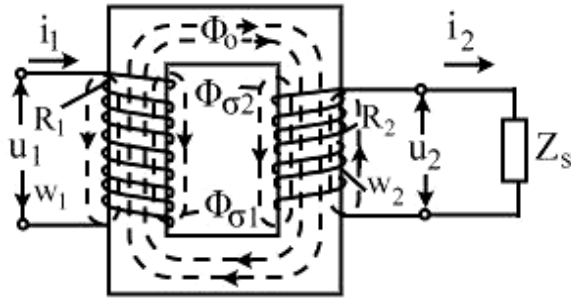


Fig.1 Schematic diagram of the transformer operating power under load

However, the magnetic flux Φ_0 is restored to the size that was operating under no-load operating mode, $\Phi_{0m} = \text{const.}$ In this case, it is resulting the equality between the resultant t.m.m. $w_1 i_{10}$ that creates the flow Φ_0 of no-load operating system and the t.m.m. resultant of primary and secondary windings $w_1 i_1 + w_2 i_2$, which creates the same magnetic flux Φ_0 in operating system task:

$$w_1 i_{10} = w_1 i_1 + w_2 i_2 \quad (1.1)$$

When using the symbolic method, equation (1.1.) assumes the form $w_1 I_{10} = w_1 I_1 + w_2 I_2$ (1.2.)

Equation (3.17) is equation t.m.m. in the operating system task processor. After solving it in relation to the current I_1 is obtained:

$$I_1 = I_{10} + \left(-\frac{w_2}{w_1} \right) I_2 \quad (1.3)$$

From expression (1.3) it results that the conventional load current I_1 can be decomposed in two components:

➤ An independent load component I_{10} , is equal to no load current and excites the main magnetic flux Φ_0 ;

➤ The second component $\left(-\frac{w_2}{w_1} I_2 \right)$

depends on the load and overcome the current I_2 magnetic response. This component is the secondary current reported and is noted I_2' . In this case, equation (1.3) assumes the form:

$$I_1 = I_{10} + (-I_2)' \quad (1.4)$$

Operating under load, the current through primary winding is $i_1 > i_{10}$, due to which the flow $\Phi_{\sigma 1}$ increases, so the rated load it is around 5% of basic magnetic flux. This leads to the growth of t.e.m. He induced dispersion $E_{\sigma 1}$. Is amplified the voltage drop $R_1 I_1$. In this case, for the primary winding of the transformer under load, the force is equal:

$$\underline{U}_1 = \underline{E}_1 + R_1 I_1 + jX_{\sigma 1} I_1 \quad (1.5.)$$

As $\underline{U}_1 = \text{constant.}$, the increase of the voltage drop $R_1 I_1$ and $jX_{\sigma 1} I_1$ under load demonstrates the reducing of t.e.m. $\underline{E}_1$ respectively of the Φ_0 flow. More detailed analysis shows that contrary to increase their load voltage drop, they remain substantially lower than.

More detailed analysis shows that contrary to increase their load voltage drop, they remain substantially lower than $\underline{E}_1$. Consequently, with the known approximations it is acceptable to the load variation, that the Φ_0 flow remains constant. In this case, equation (1.4.) is about character:

$$I_1 \cong I_{10} + (-I_2)'$$

In the equations (1.2) and (1.4) phasor diagrams of t.m.m and current transformer are constructed (fig.2 a, b). I_1 current phasor is obtained if at the the current phasor at load operation I_{10} is added with the sign reversed the reported secondary current phasor I_2' .

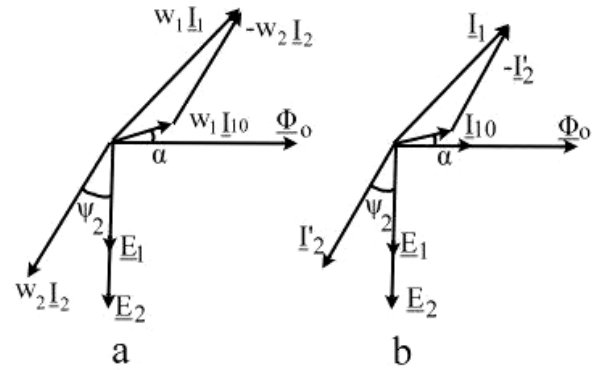


Fig.2 a, b Phasor diagrams of t.m.m in current transformer and load

Far examined the response to magnetic secondary winding under load, the influence of that part of the magnetic flux, which closes by magnetic circuit and secondary winding is created by I_2 current crossing. The other side of the stream created by the secondary winding, closes through air and is called leakage flux $\Phi_{\sigma 2}$.

He only cuts the secondary winding and induces in her t.e.m. dispersion $E_{\sigma 2}$. And here as in examining primary winding we can admit that the $\Phi_{\sigma 2}$ flow does not exist, and in its place in the secondary winding circuit is connected in series the inductance with the coil $L_{\sigma 2}$ in which appears the inductive collapse voltage $-j \cdot X_{\sigma 2} \cdot I_2$ equal in magnitude and opposite t.e.m. $E_{\sigma 2} \underline{E}_{\sigma 2} = -j \cdot X_{\sigma 2} \cdot I_2$. By $X_{\sigma 2} = \omega \cdot L_{\sigma 2}$ is denoted the Inductive reactance of dispersion-release secondary winding.

In addition to inductive reactance, the secondary winding has also active resistance R_2 . In this case, the total complex impedance of the secondary winding is

By the second law of Kirchhoff's for the momentary values of the t.e.m. and the voltage drops of the equivalent circuit (fig.3.) it can be established the equation:

Equation (1.6) acquires the complex form as:

After the substitution in equation (1.7) of $\underline{E}_{\sigma 2} = -jX_{\sigma 2}\underline{I}_2$ and the solve in report with $\underline{E}_2$ it is obtained:

The equation (1.8) characterize the electrical state of the secondary winding of the transformer under load. If considering equations (1.3) (1.4) and (1.8) which is operating under load equations of single phase power transformer, written in complex form (all sizes are considered sinusoidal electric and magnetic) it can be build the transformer phasor diagram under load.

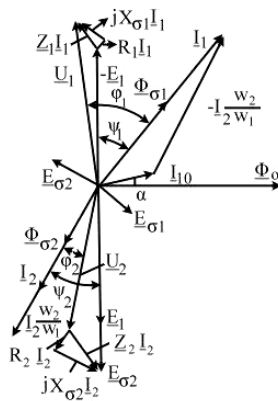


Diagram construction starts at secondary voltage phasors. $\underline{U}_2$. Phasors $\underline{U}_2$ of phase angle ϕ_2 there are

with the I_2 current is the secondary winding leakage

The direction of phasors E_1 t.e.m. coincides with that of phasors t.e.m. E_2 . The difference between the sizes of the two phasors depends on numbers of turns of primary and secondary windings of the transformer. 90° before t.e.m. phasors E_1 and E_2 it is built the magnetic flux phasors Φ_0 . Because of losses in magnetic core the current phasors I_{10} the flow Φ_0 phasors is phased with angle α .

$$I'_2 = \frac{W_2}{W_1} \cdot I_2 \text{ .In phase with current } I_1 \text{ is } \Phi_{\sigma 1} \text{ flow. } 90^\circ$$

3. Conclusions

Phasor diagram reports give a clear picture for characterizing amplitude and phase variables transform processes. Phasor dia-gram construction work and capacitive load is done similar to the inductive operating. .

4. References

143

I.Cioc,ș.a-*Mașini electrice-Îndrumar de proiectare*,Ed.Scrisul Românesc,Craiova,1985;
C.Popescu,ș.a-*Electrotehnică și mașini electrice*, Ed.Sitech, Craiova,2008;
Buhuș, P. ș.a, *Partea electrică a centralelor. Stațiile electrice și posturile de transformare, vol. I, Îndreptar pentru lucrări de exploatare a instalațiilor electrice din sistemul energetic național*, Institutul Politehnic București, 1992,

Dușa, V., *Sisteme moderne pentru comanda și controlul funcționării rețelelor electrice*, Editura Politehnica Timișoara, 2006,
Dușa, V., Vaida, V., *Comanda și controlul funcționării rețelelor electrice*, Editura Tehnică, București, 2001,
C.Lazu,V.Corlateanu-*Masini electrice*,Ed.Didactica si Pedagogica,Bucuresti,1962

Recommended for publication of Editorial board

ASPECTS OF THE HEATING OF ASYNCHRONOUS MOTORS FOR DIFFERENT OPERATING PROCEDURES

Luminița Georgeta Popescu¹, Cristinel Popescu²

¹University "Constantin Brâncuși" din Tg-Jiu E-mail: luminita@utgjiu.ro

²University "Constantin Brâncuși" din Tg-Jiu E-mail: cristi67pop@yahoo.com

ABSTRACT: This paper aims the heating of induction motors under overload, system stimulated by a mechanical progressive brake rotor of an induction motor with a power of 0.37 kW. The progressive braking system is working in the same time with a circuit that monitorize the current drawn

АСПЕКТИ ПРИ НАГРЯВАНЕ НА АСИНХРОННИТЕ ДВИГАТЕЛИ ПРИ РАБОТА В РАЗЛИЧНИ РЕЖИМИ

Луминита Попеску¹, Кристинел Попеску²

¹ Университет „Константин Бранкуши“, Търгу Жиу, Румъния E-mail: luminita@utgjiu.ro

² Университет „Константин Бранкуши“, Търгу Жиу, Румъния E-mail: cristi67pop@yahoo.com

РЕЗЮМЕ: Статията има за цел да опише нагряването на индукционните двигатели при претоварване, като е използвана система с индукционен двигател с мощност 0,37 Kw. Използвана е модерна спирачна система, снабдена с мониторингова мрежа за следене на тока.

1. INTRODUCTION

Induction machines belong to c.a electric cars group. Like all electric cars, they are reversible and can operate both as a motor and as generator. In practice, induction machines are some of the most-watched resin electrical machinery, which are operating in the engine regime. The operating principle of induction machines is based on the use of rotating magnetic field. Circular rotating magnetic field is that field at which magnetic flux phasors is constant in size but it rotates with constant angular speed Ω_1 respectively with a synchronism n_1 (a steady size). Rotating magnetic field can be obtained from two identical and mutually perpendicular windings by passing current, forming a symmetrical biphasic:

$$i_1 = I_m \sin \omega t; \quad i_2 = I_m \cos \omega t \quad (1)$$

To obtain the current system (of phase angle 90°) is required in a winding circuit to be included an element of active resistance and the other winding stream - element with reactance (capacitive or inductive). The two windings are powered from the same variable and alternative voltage source. In Fig. 1 is a schematic diagram for obtaining the rotating magnetic field with two windings 1-1 and 2-2 alternately assigned and mutually orthogonal, in which the reactive element in circuit winding 2-2 is a capacitor with capacity C

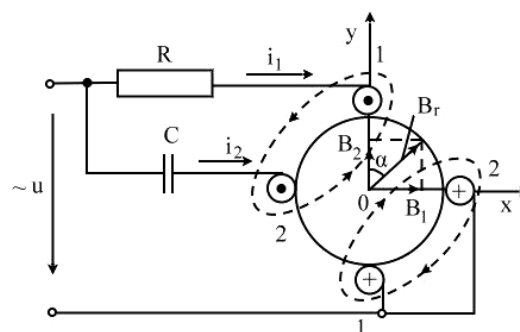


Fig.1. Diagram for obtaining the rotating magnetic field with two windings 1-1 and 2-2 alternately assigned and mutually orthogonal, in which the reactive element in circuit winding 2-2 is a capacitor with capacity C

The paper aims to monitorize the heating process of an asynchronous electrical motor with the rotor in cage for a normal operating and for an overload operating. Knowing that experimental determination of electric machines heating is a major requirement in determining the operation time of winding insulation, the heating process monitoring with thermovision camera is a novelty regarding the study of electric machines.

Starting from the fact, that the heat transmission, from the bodies in which occurs at the environment, occurs once with the increasing of body warming to the environment, it is very important to monitorize the heating process in all active parts of electrical engines. The active parts of the induction motors with rotor in subcircuit are the windings and their ferromagnetic core.

From the winding conductors, respectively the ferromagnetic core laminations, heat is transmitted to the coils

surface, respectively to the ferromagnetic core surface because of the heat conduction phenomena.

Inside the winding, the heat transfer between the middle coil and his front parts occurs by thermal conduction.

Within the paper has been made the monitoring of the operation of an asynchronous electric motor with the rotor in cage (Figure 1) in a time of 86 minutes for three different cases:

- No load;
- Rated load;
- Overload.;

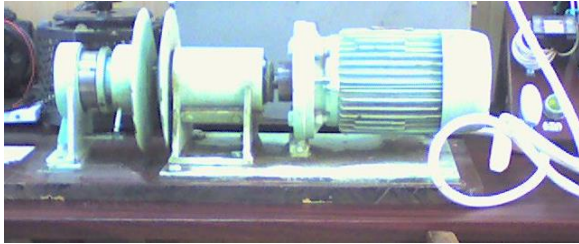


Fig.2 Asynchronous electric motor with the rotor in cage

It must be mentioned the fact that that results obtained from monitorization have target the temperature variation on the three cases to highlight the influence of overloads that occur in technological flows over the life of insulation and implicitly of electric motors, the overload being achieved through a system mounted engine.

The asynchronous electric motor with the rotor in cage presented in figure 1 has the following characteristics:

- rated voltage $U_n=220/380$
- connection Δ
- rated current $I_n=10,19/2,05$
- power $P=0,37$ kW

2.MONITORING OF THE ENGINE HEATING PROCESS

This paper aims the heating of induction motors under overload, system stimulated by a mechanical progressive brake rotor of an induction motor with a power of 0.37 KV. The progressive braking system is working in the same time with a circuit that monitorize the current drawn.

As a novelty in the monitoring schemes of induction motor overload, in the paper is used a thermovision camera that is termographing in time the heating of electric motor windings.

To operate the electric motor load behavior is shown in thermograms in Figure 3.

For operation at full load electric motor behavior is shown in thermograms in Figure 4.

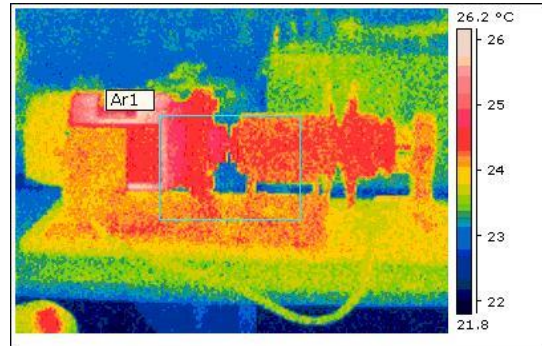
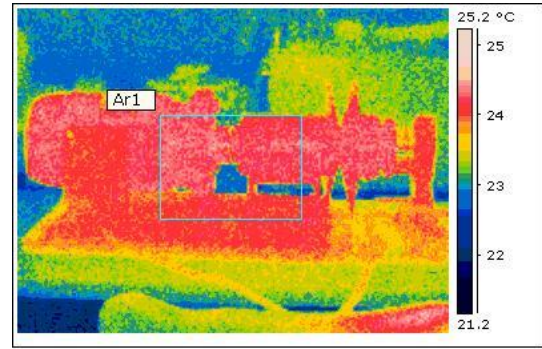


Fig. 3. Thermograms on operation load

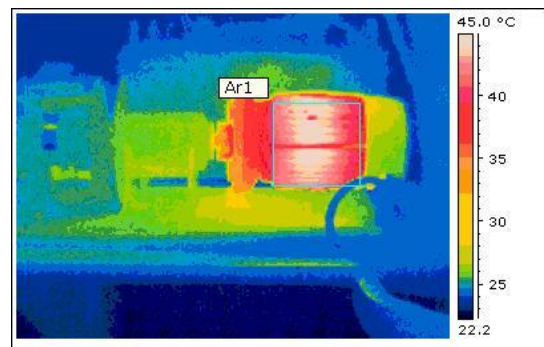
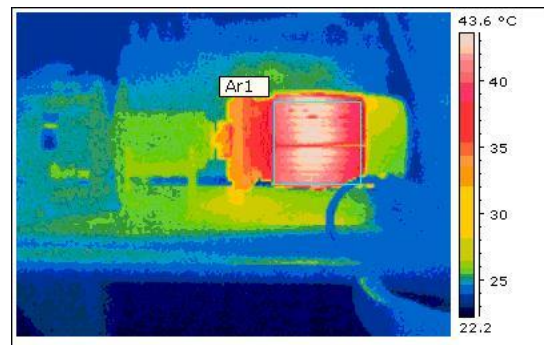


Fig.4. Termographs engine at rated load

For operation at overload electric motor behavior is shown in thermograms in Figure 5.

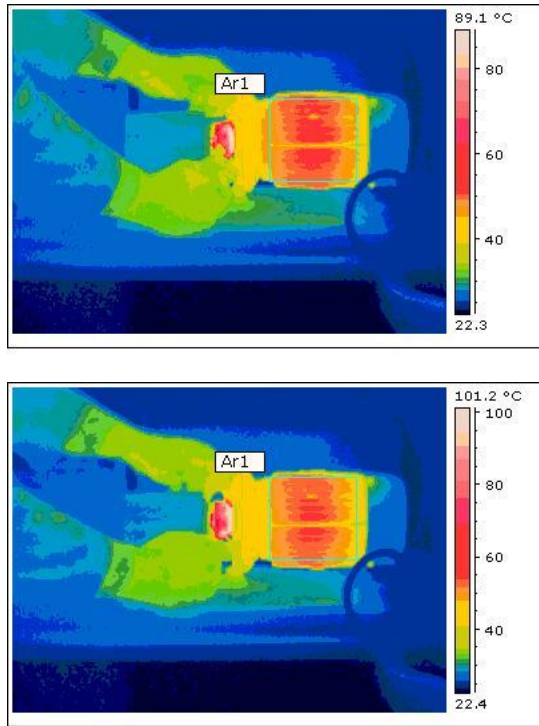


Fig.5 Thermograms engine system overload

For a steady state, the heat transmissed by conduction in time unit through the motor housing thickness Δ (assuming that no losses) and conductivity λ , is determined by the relation:

$$\theta = \lambda (\theta_2 - \theta_1) / \Delta \quad (1)$$

where θ_2 -the temperature inside the engine
 θ_1 -the ambient temperature

Conductivity has a major influence on the heat, after it is developing in two directions::

a) longitudinal direction of the board depending on silica content of silica

- at sheet-normal (with Si 0,4-0,8%) $\lambda = 48 \dots 41 \text{ W/}^\circ\text{Cm}$

-Low alloy-in sheets (with Si = 0.6 to 1.2%)

$\lambda = 44 \dots 35 \text{ W/}^\circ\text{Cm}$

-Medium-to sheet steels (with and 1.8 to 2.3%)

$\lambda = 30 \dots 26 \text{ W/}^\circ\text{C}$

-over alloy-in sheets (with and 3.6 to 4.2%)

$\lambda = 20 \dots 19 \text{ W/}^\circ\text{Cm}$

b) in the transverse direction of the silica board depending on the filling factor and on the lamination pressure resulting from core fighting .. small values are characteristic of sheets of 0.35 mm thickness and higher values being characteristic of 0.5 mm thickness sheets.

Monitoring of induction motor operation was performed for an ambient temperature of 21°C .

Recommended for publication of Editorial board

According to information taken from termograme heating was done the following graph of temperature evolution during the observation, for 80 minutes (at 5:00 p.m. was considered time zero and the maximum temperature of termograme area, which is right outside surface of the stator) :

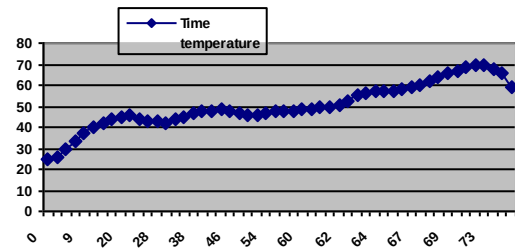


Fig.6. Graph of temperature variation on engine operating regimes

When load occurs, it is noted that the maximum temperature of termogrham is the torque load which is driven, due to increased friction due to the opposition movement of the rotor shaft.

3.Conclusions

In designing electric cars you have to calculate averages and maximum for the continous operating.Beside other technical design issues, a full solution of the heating phenomenon is not finished by determinating the heat from calculations.Because of the great influence that technological process has on the transmission coefficients heat, the experimental determination represents an necessary experimental evidence

This paper brings as novelty the monitorizing of the heating process of an induction motor squirrel cage for a normal operation and for an overload system .Knowing that the experimental determination of heating electric cars is a major requirement in determining the winding insulation life, the monitoring of the heating process with a thermovision camera ,is a novelty for regarding the study of electric machines.

4.References

- C.V.Bălă.-*Proiectarea mașinilor electrice*, Ed.Didactică și Pedagogică,București,1967;
- I.Cioc,ș.a-*Mașini electrice-Îndrumar de proiectare*, Ed.Scrisul Românesc,Craiova,1985;
- C.Popescu,ș.a-Electrotehnică și mașini electrice, Ed.Sitech, Craiova,2008;
- Buhuș, P. ș.a, *Partea electrică a centralelor. Stațiile electrice și posturile de transformare, vol. I, Îndreptar pentru lucrări de exploatare a instalațiilor electrice din sistemul energetic național*, Institutul Politehnic București, 1992,

ANALYSIS RESULTS POLLUTANTS DISPERSION FROM COAL IN POWER INSTALLATIONS

Cristinel Racocceanu¹, Luminița Popescu²

^{1,2}University "Constantin Brancusi" Targu-Jiu, Gorj, Romania

ABSTRACT: Electricity generation by combustion in thermal power plants leads to evacuation of the atmosphere pollutants: SO₂, NO₂, CO₂, dust ash. These pollutants have a negative impact of environmental factors air, water, soil. This paper presents an analysis of variance model pollutants using mathematical modeling using a computer program

Keywords: emissions, pollutant immission, pollutant dispersion, thermal power stations

АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ РАЗПРОСТРАНЕНИЕТО НА ВЪГЛИЩНИ ЗАМЪРСИТЕЛИ ОТ ТЕЦ

Кристинел Ракучану¹, Луминита Попеску²

^{1,2} Университет „Константин Бранкуши“, Търгу Жиу, Румъния

РЕЗЮМЕ: Производството на електрическа енергия от ТЕЦ води до отделянето на много замърсители в атмосферата: SO₂, NO₂, CO₂, прах, сажди и други. Последните имат отрицателно въздействие върху околната среда: въздух, вода, почва. Статията представя анализ на различни модели на замърсители с помощта на компютърно математическо моделиране.

Ключови думи: емисии, емисии на замърсители, разпространение на замърсяване, ТЕЦ.

1. INTRODUCTION

Thermal power Rovinari subject of this study is composed of four power units of 330 MW. Basic fuel boilers is coal energy. The boilers are designed and operate entirely on oil.

Thermal power plant currently operating in three energy groups, an energy group is being modernized.

2. COMPUTER SYSTEM SIMULATION OF THE DISPERSION OF POLLUTANTS

Dispersion of pollutants in the atmosphere is a complex process that can be described mathematically by the general statistical models, or mathematical models and is influenced by

- Meteorological conditions;

Pollution-source characteristics (speed of combustion gases, flue gas temperature, flue gas flow, chimney height);

- Topographical features of land areas analyzed.

Software used to make numerical simulations used these assumptions simplifying

- Used in geometry and Physical Properties real simulation model to solve temporary dependence dispersion process in a complex three-dimensional domain;

- Codes are based on the concept of finite volume in Cartesian coordinate system. Treaty area is complex depending on surface roughness.

- Increased complexity and scope of study does not involve a complication in treating the problem;

- The system is in thermodynamic equilibrium (gaseous components have the same pressure and temperature at all points in the domain).

To obtain meteorological data necessary numerical simulations, we used the automatic weather station in Targu-Jiu, who provided data: temperature, wind speed, wind direction, atmospheric pressure, humidity and light intensity.

Meteorological data processing was done using Version 3.5 software product WRPLOT View Lakes Environmental Software. WRPLOT View is a program for Windows, a program that generates wind rose, and statistics on the direction, intensity and stability class for weather data input. The program sorts the data by wind direction in 16 sectors, each of 22.5 degrees and intensity depending on the speed in six classes.

Figure 1 shows the wind rose, ie the distribution of velocities for a set of data in the range 01/02/2009 to 12/31/2009.

ISC4 program is the most common assessment program dispersions, so the determination of immission. The program is internationally certified, proof that one of the most famous environmental protection agency (U.S. EPA) protocols it uses its analysis of the dispersion, the solid or wet deposition, even in the complex field (eg. When receiver is superior share of the issuer and vice versa).

ISC4 is an improved version and the latest variant ISC3 (Sources Industrial Complex), which until now has seen several versions.

Models have been evolving, to improve the user interference (experienced or not) and ease of preparation of input files for spatial location, quantity and quality of sources and meteorological data.

Requirements related to unit of account are not special. Demonstration applications or a reasonable number of sources conditions offered by the IBM-PC computers and FORTRAN compiler min. 640 kRAM enough.

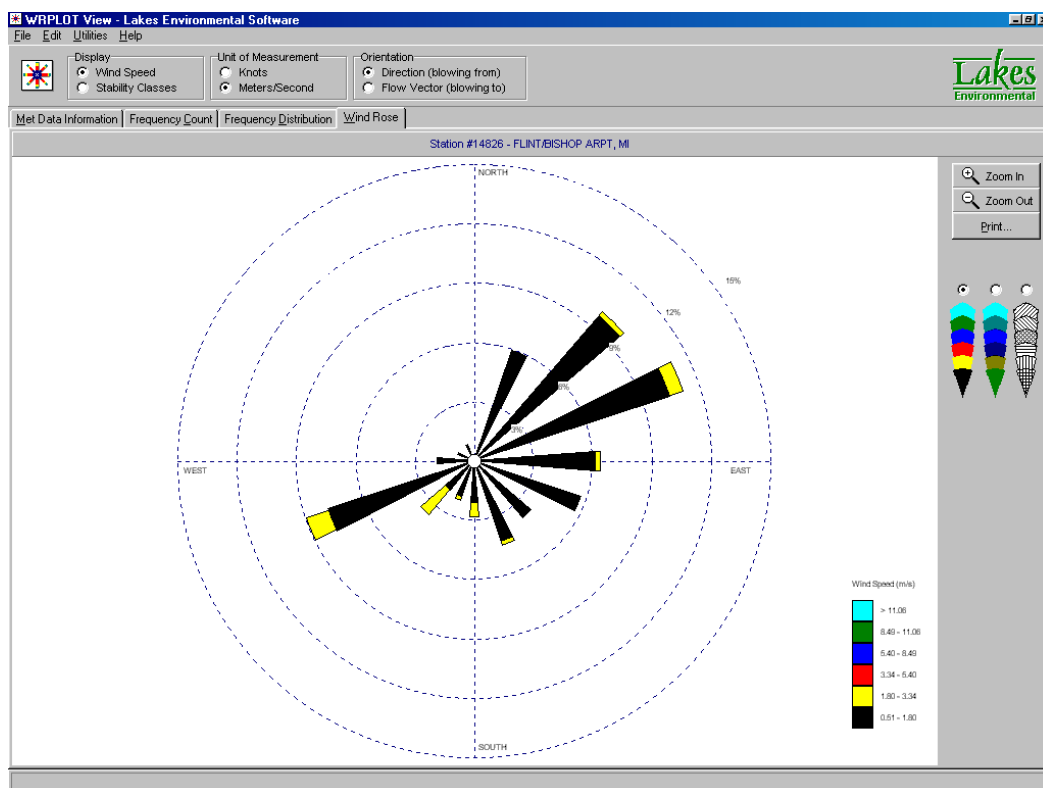


Fig. 1 Distribution of velocities

Simplifying assumptions adopted refers to these aspects (limitations):

- * Source keeps issuing considered infinite transmit power, chemical reactions do not occur, the emission is a function which admits a stable solution during the analyzed;

- * Gradient wind and the temperature in the layer where mixing occurs with atmospheric plume are constant respectively;

- * Distributions across the vertical direction and wind direction are of Gaussian type, the edges of the plume is achieved when the distribution falls below 10% of the principal axis of advancing;

- * Best results are obtained for analysis related to land flat on the distance of max. up to 100 km, according to some authors even 200 km. The existence of natural topographical or architectural obstacles, this large water areas in the vicinity affect reliability and performance results;

- * Classes Stability refers to conditions stable, unstable and neutral, and to limit their combinations.

The programs offer answers to the various impact assessments for any issuer (stationary, mobile) at any height (reception), regardless of origin or number (industry, combustion equipment, ventilation equipment, intersections, parking garages and tunnels, etc..) size, location (urban or rural), etc..

Determine pollution locally or remotely, as appropriate and transboundary pollution, directly dependent probability density in the range chosen.

Dispersion analysis of substances can be lighter or heavier than air (eg. Typical combustion gases, particles of slag heaps, carcinogenic substances, solid, etc..) Critical situations can simulate fire, burglary and fuel pipelines then switch volatiles, etc..

The program offers options that can calculate the average 30 minutes, daily, yearly, or a defined period of time.

As the input data are more representative and closer to the truth, with both findings are accurate. ISCView4 has the option of graphic processing of results.

On emission concentrations (in the source input) on-line measurement method is indicated, in terms of duration representative

3. Characteristics of pollution sources

In termoelectric Rovinari plant case, stationary sources of pollution are the power units of 330 MW boilers fueled with coal.

The four power boilers are connected to two chimneys, each with a height of 250 m and the tip diameter of 8 m.

Using specialized equipment, were measured monthly average concentrations of main pollutants resulting from

combustion of lignite for the chimney stack No. 1 and No. 2: SO₂, NO_x, CO and particulate ash.

Results of continuous measurements made during 2009 are presented in Table 1.

They measured the volume of flue gas volume wet and dry flue gas for each chimney.

Table 1 Measurements of pollutants from chimneys

year 2009	SO ₂ (mg/m ³ _N)	NO _x (mg/m ³ _N)	Dust (mg/m ³ _N)	CO (mg/m ³ _N)	wet gas volume (mii m ³ _N /lună)	dry gas volume (mii m ³ _N /lună)
January	3998,22	446,89	141,12	30,22	997140	824569
February	4024,46	498,12	137,14	31,17	884252	713673
March	3897,13	487,46	128,16	32,88	662768	598743
April	3917,80	459,25	140,98	34,15	478654	431128
Mai	3887,61	497,16	124,28	34,76	301239	276542
June	3942,39	486,26	127,75	33,18	688759	611326
July	4112,18	476,82	126,14	31,14	612396	590458
August	4005,39	469,17	128,27	30,88	854238	798768
September	3887,27	491,42	132,54	32,76	589762	525432
October	3994,34	496,85	134,12	33,15	712369	679786
November	4.028,12	476,81	137,67	32,93	889675	825349
December	4.118,36	468,92	128,29	34,16	616598	589674

4. Experimental results

Pollutants dispersion analysis was performed for two different situations: situation S1 (summer) and situation S2 (winter). Characteristics of thermal power plant pollution sources for the two cases analyzed Rovinari are centralized in Tables 2 and 3.

Listed in Table 2 and gas flow rate in exhaust emissions from the chimneys of power in state S1 (summer) and are listed in Table 3 and Table 3 speed exhaust gas flow and the emission through the chimneys of power when S2 (winter)

In Table 4 are calculated immission concentrations of SO₂ pollutant that computer program for maximum permitted levels according to STAS 12574-87 analyzed situations S1 and S2. Values calculated immission concentration of sulfur oxides are close to maximum permitted levels STAS 12574-84.

In Table 5 are calculated immission concentrations of particulate pollutant computer program for ash, respectively, according to STAS 12574-87 maximum permissible values for S1 and S2 cases analyzed.

Immission levels calculated values are below the maximum allowable particulate STAS 12574-84.

Și3 is represented in Figures 2 to 24 hours average distribution of SO₂ (in mg/m³_N) issued by the chimneys of power for the August episode (case S1) and December (S2 state) in 2009, the ground distance of 5 km, measured from the center of the grid ..

Figures 4 and 5 is represented in 24-hour average distribution of the dust of ash (in mg/m³_N) issued by the chimneys of power for the August episode (case S1) and December (S2 state) in 2009, ground, distance of 5 km, measured from the center of the grid ..

Table 2

Nr. crt.	Name	Symbol	U.M.	Measured values
1	Température of burning gases	t _{gc}	0C	135
2	Chimney height	H _c	m	250
3	Diameter chimney	D _c	m	8
4	Gas velocity at stack exit	w _{gc}	m/s	16,26
5	Mass flow of carbon monoxide	m _{CO}	mg/s	9876
6	Mass flow of nitrogen oxides	m _{NOx}	mg/s	137963
7	Mass flow of sulfur oxides	m _{SO2}	mg/s	1154238
8	Powder mass flow	m _p	mg/s	49870

Table 3

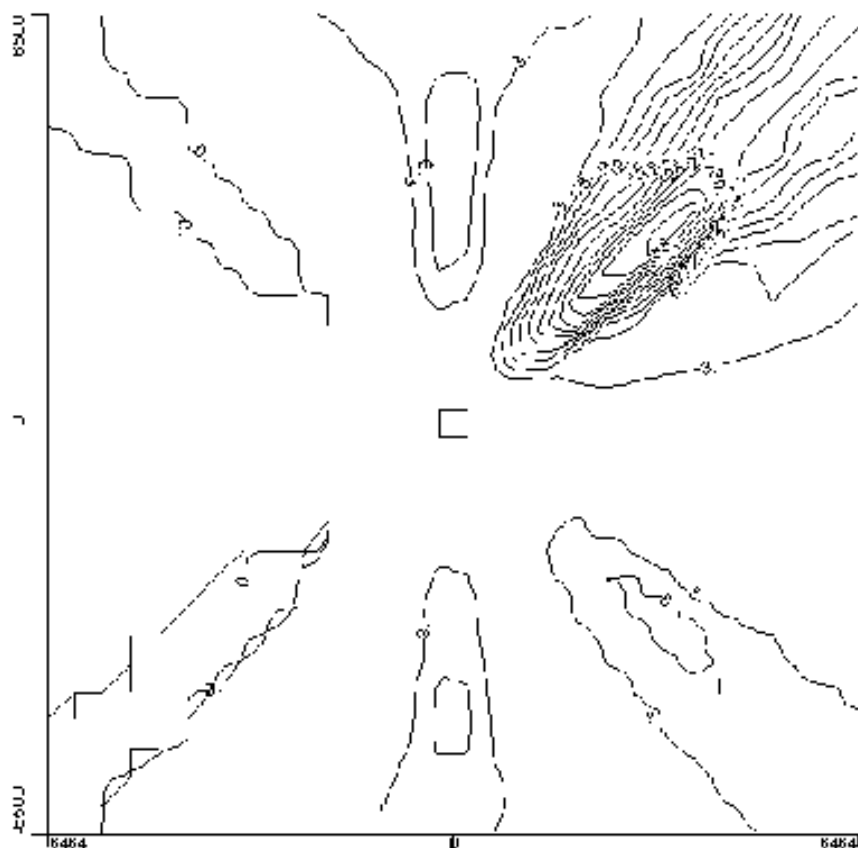
Nr. crt.	Name	Symbol	U.M.	Measured values
1	Température of burning gases	t_{gc}	$^{\circ}C$	132
2	Chimney height	H_c	m	250
3	Diameter chimney	D_c	m	8
4	Gas velocity at stack exit	w_{gc}	m/s	15,86
5	Mass flow of carbon monoxide	m_{CO}	mg/s	9763
6	Mass flow of nitrogen oxides	m_{NOx}	mg/s	138623
7	Mass flow of sulfur oxides	m_{SO2}	mg/s	1058240
8	Powder mass flow	m_p	mg/s	48975

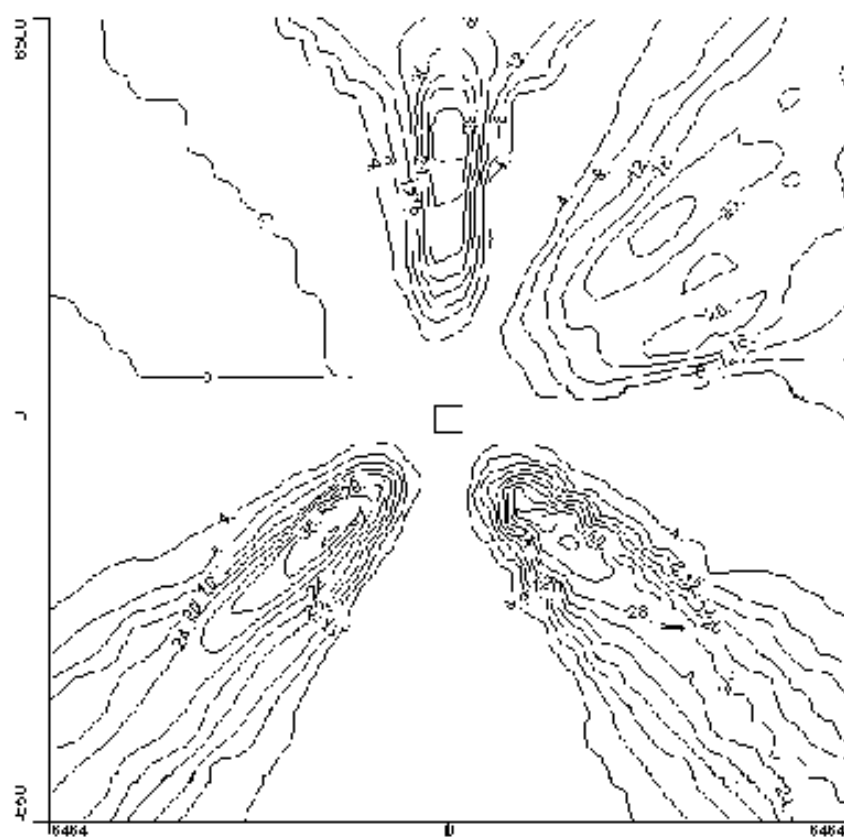
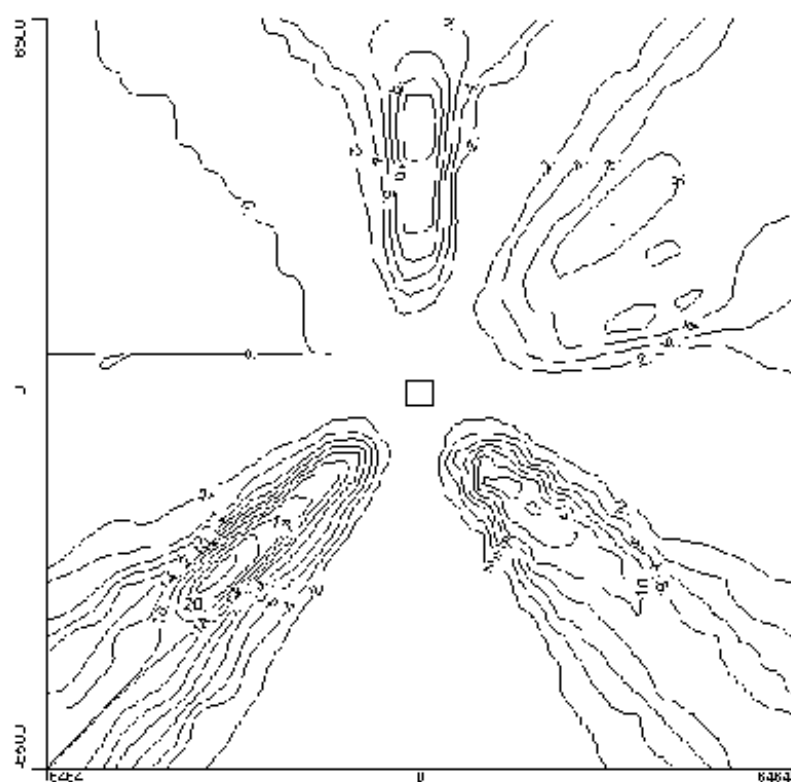
Table 4

Period	SO ₂ max 30min.	SO ₂ max 30min.	SO ₂ max 30min.	SO ₂ max 30min.	SO ₂ max 24hours	SO ₂ max 24ore	SO ₂ max 24hours	SO ₂ max 24hours
	(C _{max})STAS [mg/m ³ _N]	C _{calculated} [mg/m ³ _N]	X [m]	Y [m]	(C _{max})STAS [mg/m ³ _N]	C _{calculated} [mg/m ³ _N]	X [m]	Y [m]
summer	750	240,2	2918	2598	250	31,8	2926	2956
winter	750	316,8	-1815	-1629	250	20,7	-3165	-3118

Table 5

Period	dust max 30min.	dust _{max} 30min.	dust max 30min.	dust max 30min.	dust max 24 hours	dust _{max} 24 hours	dust max 24 hours	dust max 24 hours
	(C _{max})STAS [mg/m ³ _N]	C _{calculated} [mg/m ³ _N]	X [m]	Y [m]	(C _{max})STAS [mg/m ³ _N]	C _{calculated} [mg/m ³ _N]	X [m]	Y [m]
summer	500	36,4	0	3400	150	6,4	2948	2956
winter	500	34,8	0	4100	150	1,2	0	4000

Fig. 2. Distribution of 24-hour average SO₂ (in g/m³_N)



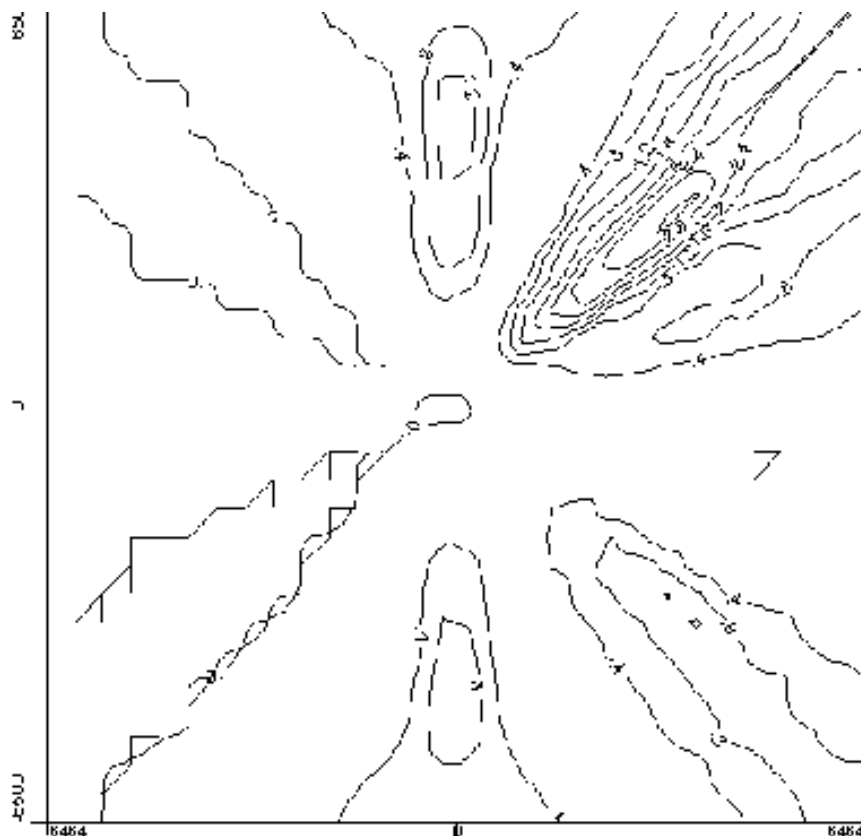


Fig. 5. Distribution of 24-hour average ash dust

5. Conclusions

Results from the analysis by simulating pollutants dispersion maps in power plants is considered that pollution can pull away conclizia not exceed the limits allowed by law.

For each pollutant analyzed can say:

- Max SO₂ calc.24ore situation appears S1 to 3.8 km northwest of the central and the state S2 at 3.5 km SE of center.;
- Dust max calc.24ore situation occurs for S1 to 1.9 km SW of the central and the state S2 to 4.2 km northwest of the center.

High chimney height (250 m) which is discharged pollutants into the atmosphere leads to a better dispersion of acesora. Din this reason imissions Rovinari polluting thermal power plant within the limits allowed by law on environmental protection.

Due to high chimney height of the plant, dispersing pollutants in the atmosphere is good, imissions of pollutants falling within the limits allowed by Romanian law on environmental protection.

References

Racoceanu C., Șchiopu C. – *Tehnologii de protecție și depoluare a aerului*, Editura Academica Brâncuși; Târgu Jiu, ISBN 978-973-144-346-1 , 2010.

Căpățînă C., Racoceanu C., - *Deșeuri*. Editura Matrix Rom, București, ISBN 973-685-670-4, 2003, cod CNCIS 39.

Popa R.G., Racoceanu, C., Șchiopu E.C. *Tehnici de monitorizare și depoluare a aerului*, Editura Sitech, Craiova, ISBN 978-973-746-894-9, 2008 , cod CNCIS 170

Racoceanu, C., Popescu C. *Analiza impactului complexelor energetice asupra mediului*, Editura Sitech, Craiova, ISBN 978-973-746-679-2, 2007 , cod CNCIS 170

Popescu, C. Racoceanu, C. *Eficientizarea activității termocentralelor în condiții de protecția mediului*, Editura Sitech, ISBN 973-746-380-3, ISBN 978-973-746-380-7, 2006 , cod CNCIS 170.

Racoceanu C. - *Studiul de audit al centralelor termoelectrice*. Editura Sitech, Craiova, ISBN 973-746-163-0, 2006 , cod CNCIS 170.

Racoceanu C., Popescu C. – *Evaluarea emisiilor poluante rezultate prin arderea lignitului în CTE de mare putere*, Editura Sitech, Craiova, ISBN 973-746-211-4, 2006, cod CNCIS 170.

Racoceanu C., Căpățînă C.- *Emisiile de noxe ale centralelor termoelectrice*. Editura Matrix Rom, București, ISBN973-685-882-0, 2005 , cod CNCIS 39.

Racoceanu C. - *Impactul centralelor termoelectrice asupra mediului*. Editura Focus, Petroșani, ISBN 973-8367-12-3, 2001, cod CNCIS 4.

Racoceanu C., Popa R.- *Protecția și depoluarea aerului. Îndrumător proiectare*. Editura Sitech, Craiova, ISBN 973-657-713-9, 2004 , cod CNCIS 170.

MODERN SYSTEM FOR TESTING ELECTRICAL TRANSFORMERS

Cozma Vasile, Cercel Constantin, Grofu Florin

University "Constantin Brâncuși" of Tirgu Jiu, Romania

ABSTRACT: Electrical machines are basic components of any power system. Progress in leading industries is closely linked to developments in electrical machines, their performances respectively. In this paper proposes a monitoring system using modern electrical network analyzer CIRCUTOR CVM-BD-RED.

Keywords: electrical machines, data acquisition system, network analyzer

СЪВРЕМЕННА СИСТЕМА ЗА ТЕСТВАНЕ НА ЕЛЕКТРОТРАНСФОРМАТОРИ

Василе Козма¹, Константин Черчел², Флорин Грофу³

^{1,2,3} Университет „Константин Бранкуши“, Търгу Жиу, Румъния

РЕЗЮМЕ: Електрическото оборудване е основно при всяка енергийна система. Затова напредъкът при водещите промишлености е тясно свързан с електрическите машини и тяхното функциониране. В статията се предлага съвременна мониторингова система, използващ анализатор на електрически мрежи CIRCUTOR CVM- BD – RED.

Introduction

Transformers and electrical machinery are some of the most important practical applications of electromagnetic phenomena. Electric cars are electromechanical equipment which convert mechanical energy into electrical energy or vice versa, as they operate under a power generator or electric motor.

The operating principle of electric machines based on two phenomena:

- a) the phenomenon of electromagnetic induction – that is induction of electric power in the conductors moving in stationary magnetic field continuously or in the fixed conductors in nonstationary magnetic field, with constant size;
- b) the phenomenon of developing electromagnetic forces due to interaction between magnetic field and covered conductors of electricity.

Rotating electrical machines have two armatures:

- a) inductor - is the system that creates electromagnetic induction magnetic field (excitation)
- b) induced - is the system that contains the winding (winding) which induce electric power.

In the operation of electrical machines, one of the two armatures, the stator, is fix and one moving part is called the rotor. Electrical machines can be built for DC or AC operation.

The electrical machinery group, ordinarily include transformers, the equipment as stationary electromagnetic electrical machines are not truly electrical machines and not transforms electrical energy into another form of energy but only change its parameters. Electromagnetic processes in

transformers based on the whole phenomenon of electromagnetic induction as electrical machines. This allows to study electrical transformer in common with AC electrical machines.

Transformers contain the following basic parts:

- a) two (or more) windings magnetically coupled - is a primary winding receiving electricity to be transformed and second (may be more than one), the secondary winding will produce electricity with transformed parameters;
- b) the magnetic circuit for creating strong magnetic coupling between windings.

Unlike electrical machines, electrical transformers have properties lacking parts relative motion between the conductor and magnetic field. That is why their operation is necessary to create variable magnetic field, that means electrical transformers work only AC.

Electrical machines and transformers are constructed and designed to work in given conditions, what determines their nominal operating regime. Nominal parameters characterizing this regime are called nominal. One of the basic nominal parameters for electrical transformers is rated apparent power which represents the secondary circuit terminals (S_{2n}) expressed as VA, kVA and MVA for not warming exceeded allowable limits of constituents in environmental conditions indicated (STAS -1703/2-80).

Electrical machines and transformers are the basic elements of any power system or electromechanical actuator systems. It is therefore necessary to know both theory and phenomena occurring in them during their operation.

Electrical transformers are static electromagnetic systems, which operate on the principle of electromagnetic induction, which converts AC power with some voltages and currents (u_1 , I_1) in energy as with different values (u_2 , i_2) with a constant frequency. They play an important role in generation, transmission and distribution of electricity.

For experimental determination of active power losses (in iron and copper for primary and secondary windings) in a transformer is running no load and short-circuit tests. These tests determine the parameters needed to determine the transformer equivalent scheme.

PFe losses, are the sum of losses from hysteresis phenomena p_H and swirl currents p_T ($p_{Fe} = p_H + p_T$), and is determined from no load tests.

PCU copper losses, are the sum of copper losses in copper primary winding and secondary winding p_{Cu1} p_{Cu2} , and are proportional to the square currents passing through the windings, and is determined from short circuit tests.

To determine experimentally the two forms of loss, it is necessary to fulfill the following conditions:

- transformer tests should not debit the consumer power (Fig. 1), that is the power absorbed by the primary winding, but must balance transformer losses;
- experimental installation is such that one of the two forms of loss to be low, so it can be ignored.

The proposed system

In any electronic measurement laboratory where there is at least an automated computer system IBM-compatible PC, you can perform a series of measurements, test operations and performance monitoring activities with the assistance of electronic computers, such as:

- measurement of specific parameters and sizes of electronic devices and circuits (electrical) under the term of storing and processing data from measurements and their representation in a convenient form for interpretation (graphs, tables, charts). This way you can measure quantities such as: terminal voltage, power, frequency, phase angle, phase, derive coupling factors etc. ;
- graphic representation, both on a 'display' proper procurement system and the "display" the computer, how to change the time or singular size dependence of different sizes of circuit parameters, frequency, temperature, etc.;
- monitoring the behavior of the operation of electrical equipment and installations, the operation of files (dedicated data)
- harmonic analysis (spectrum) signals for determining distortion (especially at high frequencies);
- representing the characteristics of signals and transfer functions of some floors in the form of frequency dependence (amplitude-frequency) or Laplacian.

The proposed system block diagram is shown in the figure 1.

Data acquisition system

The data acquisition system is achieved with network power analyzer CIRCUTOR CVM-BD-RED, shown in figure 2, which contain the current transducers for connecting to the three phase network supply.

The CVM-BD is an instrument which measures, calculates and displays all the main electrical parameters at any electrical network (balanced or not). The measuring is true RMS value, through three a.c. Voltage inputs and three a.c. Current inputs

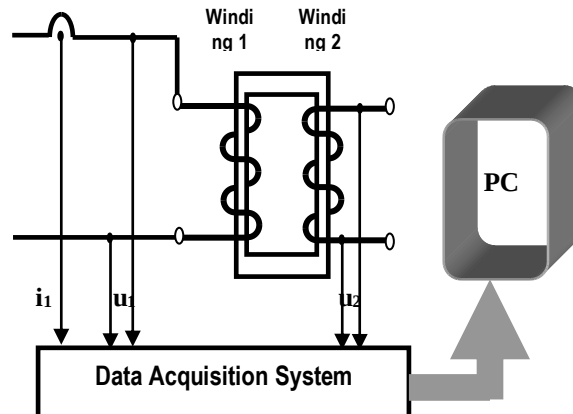


Fig. 1. Experimental scheme

(from Current Transformers .../ 5A).

The maximum values for the inputs are:
500V a.c. phase-neutral;
866V a.c. phase-phase;
5A current on phase, and for largest values must use current transducers.

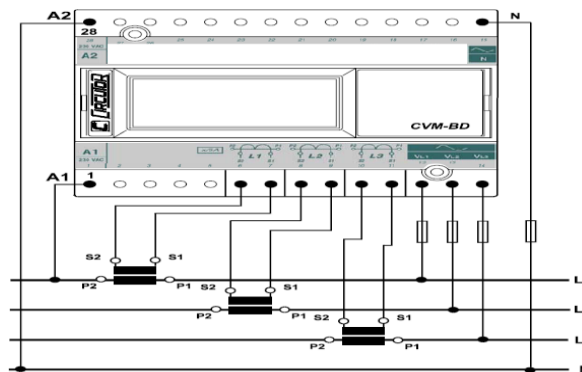


Fig. 2. CVM-BD-RED

In table 1 it is presented pinouts configuration for the device:

Table 1.

Terminal Nr	Designation	Concept
1 - 28	A1 - A2	supply voltage : 230 V a.c.
27 - 26	dep. model	Relay output N° 1 / 1 output of 4- 20 mA
25 - 24	dep. model	Relay output N° 2 / 2 output of 4- 20 mA
23 - 19	Termination resistor (RT)	240 resistor: adaptation of the line final impedance (bridge 23 - 22 and 19 - 20)
22	+	COM1 CVM-B : RS-485 connection to the PC
21	GND	22 + -----> 1 (+)
20	-	21 GND -----> 5 converter
		20 - -----> 2 (-) RS-485/RS-232
16	-	COM2 : connection RS-485 to PERIPHERALS
17	GND	16 - -----> (-)
18	+	17 GND -----> GND "network"
		18 + -----> (+)
15	N	NEUTRAL
14	VL3	Voltage phase 3
13	VL2	Voltage phase 2
12	VL1	Voltage phase 1
11 - 10	IL3: s1 - s2	Current phase L3 .../ 5 A
9 - 8	IL2: s1 - s2	Current phase L2 .../ 5 A
7 - 6	IL1: s1 - s2	Current phase L1 .../ 5 A

Analyzer CVM-BD-RED has built an RS-485 communication interface through which the device can send all the parameters measured and calculated to a central processing unit (PC). Also, this device can be connected to an RS-485 communication network, making access to the address on each device. Figure 3 illustrates how to connect a RS-485 communications network for data transfer and adaptation of the PC. Communication with PC is done through the serial port and using a converter to adapt the RS-232 / RS-485.

Software to connect to data acquisition system is developed in LabWindows/CVI development environment. LabWindows/CVI is a programming environment integrated American National Standards Institute (ANSI) C developed by the company National Instruments and is designed for engineers and researchers to create applications with virtual instruments. LabWindows / CVI software is useful for developing flexible and inexpensive measure using traditional measurement methods. Software LabWindows/CVI is primarily used in automated test systems, project monitoring and data acquisition, measurement and verification testing, process monitoring and control.

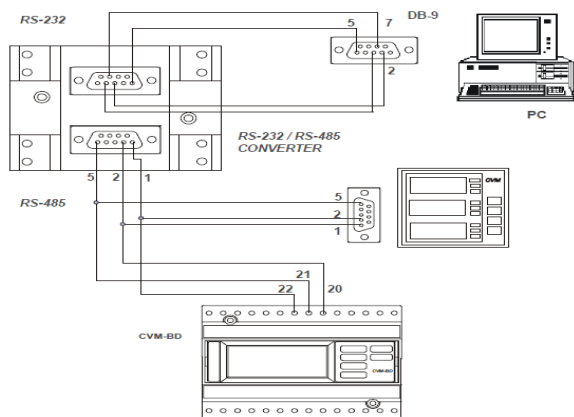


Fig.3 Connecting CVM-BD-RED

Results

To test and validate the proposed system was done through a software application that can view graphics the evolution of

the monitored and recorded parameters and calculated data in tabular form. The application also provide the opportunity to view certain parameters (voltage, current, power factor, etc.) regardless of the display of graphs and tables.

Graphical user interface application is shown in figure 4

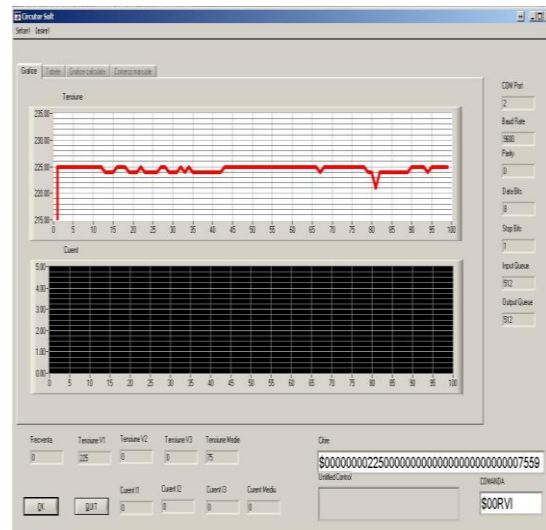


Fig. 4. Graphical user

References

- Milev I., Electrotehnica i Electronica , Sofia 1992
- Cozma V. ș.a., Electrotehnică și mașini electrice, Editura SITECH, Craiova, 2008, ISBN 978-973-746-862-8
- Cozma V. ș.a., Aparate si masini electrice, Editura SITECH, Craiova, 2007, I.S.B.N. 978-973-746-690-8
- Cozma V. ș.a., Transformatorul Electric-Teorie și aplicații. Editua SITECH, Craiova, 2005, I.S.B.N. 973-657-882-8;
- Cercel C., Grofu F., „USB to Parallel communication interface”, Annals of „Constantin Brancusi” University of Tirgu Jiu, The XIII-th edition of the international scientific conference of the Engineering Faculty, November 07-08, 2008, pag. 269-276, ISSN 1844-4856
- CIRCUTOR CVM-BD-RED – INSTRUCTION MANUAL

Recommended for publication of Editorial board

ASPECTS REGARDING THE SHORT-CIRCUIT OPERATING MODE OF THE STATIONS AND TRANSFORMERS POSTS

Cristinel Popescu¹, Vasile Cozma²

^{1,2}University "Constantin Brâncuși" din Tg-Jiu, cristi67pop@yahoo.com

ABSTRACT: The study of the short-circuit regime at electric power transformers used in power stations and electric power distribution transformer connected to the National Energy System, is made since their design phase with the reference voltage circuit element and the related scurcircuit losses .

НЯКОИ АСПЕКТИ НА РАБОТА В РЕЖИМ НА КЪСО СЪЕДИНЕНИЕ В ЕЛЕКТРОСТАНЦИИ И ТРАНСФОРМАТОРНИ ПОСТОВЕ

Кристинел Попеску¹ Василе Козма²

^{1,2}Университет "Константин Бранкуши", Търгу Жиу, Румъния, E-mail: cristi67pop@yahoo.com

РЕЗЮМЕ: Статията представя резултатите от проучване в режим на късо съединение при трансформатори, работещи в електростанции и разпределителни мрежи в рамките на Националната енергийна система на Румъния.

1.Introduction

The transformers short-circuit regime appears when the impedance is connected to secondary winding terminals tending to value 0. The transformers nominal short circuit voltage is usually expressed as a percentage of nominal voltage primary winding.

Establishing the nominal short-circuit voltage is very important in the functioning of electrical transformers, its value being written on plate of the transformer manufacturing.

Based on these considerations, the paper aims to carry out a case study on an electrical transformer to explain the operating short-circuit regime and defining measurements that characterize the operating system.

2. The short-circuit regime study for power transformer

At the decrease of the load impedance Z_s connected to the terminals of the transformer secondary winding (fig.1), current i_2 increases. In the limit case when $Z_s=0$, the terminals of the transformer secondary winding short-circuit connects the blade, when $U_2=0$. This operating mode of the transformer is called short-circuit regime. In addition, if the primary winding is supplied at rated voltage U_{1n} , the current passing through at short-circuit I_{1k} it is 10-20 times higher than the rated current I_{1n} of the transformer. If one starts from the equation :

$$\begin{aligned} \underline{E}_2 &= \underline{U}_2 + R_2 \underline{I}_2 + jX_{\sigma 2} \underline{I}_2 = \underline{U}_2 + \\ &+ \underline{I}_2 (R_2 + jX_{\sigma 2}) = \underline{U}_2 + \underline{Z}_2 \underline{I}_2 \end{aligned} \quad (1),$$

characterizing the state of the power-transformer secondary winding under load, for the short-circuit regime in which $\underline{U}_2=0$ is obtained:

$$\underline{E}_2 = \underline{I}_{2k} (R_2 + jX_{\sigma 2}) = \underline{Z}_2 \underline{I}_{2k}$$

From where:

$$\underline{I}_{2k} = \frac{\underline{E}_2}{\underline{Z}_2}$$

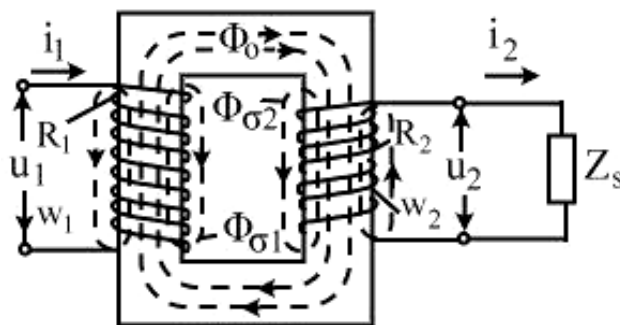


Fig.1 Schematic diagram of the transformer operating power under load

References

- C.V.Bălă.-*Proiectarea mașinilor electrice*,Ed.Didactică și Pedagogică,București,1967;
- I.Cioc,ș.a-*Mașini electrice-Îndrumar de proiectare*,Ed.Scrisul Românesc,Craiova,1985;
- C.Popescu,ș.a-*Electrotehnică și mașini electrice*, Ed.Sitech, Craiova,2008;
- Buhuș, P. ș.a, *Partea electrică a centralelor. Stațiile electrice și posturile de transformare, vol. I, Îndreptar pentru lucrări de exploatare a instalațiilor electrice din sistemul energetic național*, Institutul Politehnic București, 1992,
- Dușa, V., *Sisteme moderne pentru comanda și controlul funcționării rețelelor electrice*, Editura Politehnica Timișoara, 2006,
- Dușa, V., Vaida, V., *Comanda și controlul funcționării rețelelor electrice*, Editura Tehnică, București, 2001,
- C.Lazu,V.Corlateanu-*Masini electrice*,Ed.Didactica si Pedagogica,Bucuresti,1962

Recommended for publication of Editorial board

CALCULATION OF INDUCTION DEVICE WITH SIMULATION METHODS

Goce Stefanov¹, Ljupco Karadzinov² Natasa Mojsoska¹

¹ University Goce Delcev, R. Macedonia, goce.stefanov@ugd.edu.mk, natasa.mojsoska@ugd.edu.mk

² University Sts. Cyril and Methodius, R. Macedonia, L.Karadzinov@ukim.edu.mk

ABSTRACT. In this paper is given a procedure for practical calculation of induction device for melting of the metal with a small capacity. Used to simulations programs ELTA, PowerSim and SemeSemikron. With simulation program ELTA, for object of investigation work piece metal are defining the parameters of the induction device. And by simulation programs PowerSim and SemeSemikron the power converter is optimized. The induction device is intended for melting 5kg copper.

ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ИНДУКЦИОННИ НАГРЕВАТЕЛИ СЪС СИМУЛАЦИОНИ МЕТОДИ

Гоце Стефанов¹, Люпчо Караджинов² Наташа Мойсоска¹

¹ Университет Гоце Делчев-Щип, e-mail goce.stefanov@ugd.edu.mk, natasa.mojsoska@ugd.edu.mk,

² Университет Св.Кирил и Методий-Скопие, Гоце Делчев-Щип, e-mail L.Karadzinov@ukim.edu.mk

РЕЗЮМЕ. В този доклад се дава процедура за практическото изчисляване на индукция устройство за топене на метал с малък капацитет. Използва се симулации програми ELTA, PowerSim и SemeSemikron. С симулационна програма ELTA, за предмета на разследването металообработване парче се определят параметрите на индукция устройство. А от симулационни програми PowerSim и SemeSemikron конвертор е оптимизиран. Устройство е предназначено за топене 5 кг. мед.

1. Introduction

The induction device is intended for induction heating of metallic materials. The procedure for calculating the induction device cover a procedure for calculating of the parameters of the work piece which is subject to induction heating and procedure for optimization of the power converter that will manage with induction device. In the paper is given the calculations of the induction device for melting of the 5kg copper.

The procedure for calculation of the parameter of the work piece which is subject of the induction heating, in this paper, is based of the simulation program.

Also, the optimization of the power converter that manage with the induction device is based of the simulations programs.

In the power electronic from interest is the work of electronic components as switches. The electronic components as switches in the electronic circuits of power electronics manage by conversion of electrical energy from one to another shape, [1]. Major efforts for designing of the circuits in power electronics is the reducing of the price and the size of used parts. High working frequency enables reducing of the size of the used inductance L and capacitor C. So, increasing the working frequency allows reducing of the values of inductance L and capacitance C for same impedance of the circuit, [4], [7]. But on the other hand the increasing of the working frequency reduces the stability of power converter and increases power switching losses, [7]. Therefore is required designing the power converters with

circuits that enable operation of high frequencies with less power losses. Here are used circuits that allow switching of the power switches at zero voltage ZVS and zero current ZCS. The resonant circuits, as output load of the power converters are circuits that allow work on switches with ZVS and ZCS. And because of that the operation of the power converter with resonant load is of great interest. At working processes with output load in the mode on induction device, the dynamics of process affects of the parameters of resonant circuit. In such loads, the output power of the converter not only depend on the effective value of voltage, but and from the frequency. The dynamic of work of the induction device affects of the values of inductance L and resistance R of resonant tank. Because the frequency of resonant system is determined by L and R on the circuit, with change of L and R of the circuit, the frequency of resonant tank is changing. In such modes of operation is necessary regulation of the output power, [8].

2. Calculation of the induction device

In the design of the induction device are used simulation programs:

- *Elda*, [2], for defining of the parameters of the induction device.
- *PowerSim*, [3], for modeling of power converter against defined power of the induction device obtained from *Elda* simulation program
- *Semesiel*, [6], for optimization of the power losses of converter.

Defining the working conditions:

- Maximum output power (S_{max}): Maximum output power of 12000VA .
- object of investigation work piece with:
 - cylindrical geometry
 - metal copper
 - weight 5kg
 - maximum temperature is 1083°C
 - time cycle is 3600s
- Switching frequency (f_{sw}): A switching frequency of 6 kHz is used for design of maximum power.

$$f_{sw} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_e C}} \quad (1)$$

- Typical value for the power factor for the induction cooker is 0.5, equation (2), [8].

$$FP = \frac{R_e}{\sqrt{R_e^2 + (2\pi f_{sw} L_e)^2}} = 0.5 \quad (2)$$

- Also, IGBT devices and full bridge converter are used.

A. Simulation

Elda simulation programs, [2]. Induction heating is a complex combination of electromagnetic, heat transfer, and metallurgical phenomena. Heat transfer and electromagnetic are closely interrelated because the physical properties of heat treated materials depend strongly on both magnetic field intensity and temperature. In general, the transient (time-dependent) heat transfer process in a metal work piece can be described by the Fourier equation

$$C\gamma \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div}(-\lambda \text{grad} T) = Q \quad (3)$$

where T is the temperature, γ is the density of the metal, C is the specific heat, λ is the thermal conductivity of the metal, and Q is the heat source density induced by eddy current s per unit time in a unit volume (so-called heat generation). In general case the calculation of the parameters of the electromagnetic field is based on the calculation of Maxwell's equations for defined medium and geometry. Solving of Maxwell's equations and equation for heat transfer process in general and special case is a complex task. Computer simulation makes the problem of designing the induction device easy and simple. Computer simulation are based on numerical method, Finite Differences Method and Finite Element Method. By numerical methods the problems of distribution of the electromagnetic field and heat transfer in metals is reduced for finding approximate solutions of partial differential equations. In the paper is used ELTA simulation program for estimation of the electromagnetic field and head transfer for work piece metal with cylindrical geometry.

In Elda simulation program toward defined working piece of copper the geometry of the system inductor, graphite crucible, work piece is defined:
Input data

Work piece:

Shape: Cylinder. Length: 15cm, finite system length.

Layers:

1. Copper, $R_{int}=0\text{cm}$, $R_{ext}=3.75\text{cm}$, $T=20^\circ\text{C}$
2. Graphite, $R_{int}=3.75\text{cm}$, $R_{ext}=5.25\text{m}$, $T=20^\circ\text{C}$

Inductor:

$R=5.75\text{cm}$

Tube profile: ring, $D=0.8\text{cm}$, $d=0.2\text{cm}$,

Inductor length: 16.5cm

Number of turns: 14

Resistivity: $2 \times 10^{-006} \Omega\text{cm}$

Processing stages:

$f = 6\text{kHz}$, $U = 30\text{V}$

Time cycle 3600s.

Magnetic flux Φ_i of the inductor flows around all its turns as one stream (Fig. 1). Inside of the inductor it consists of a leakage flux Φ_s in the gap between the coil and work piece and flux Φ_w inside of the work piece.

$$\phi_i = \phi_s + \phi_w \quad (4)$$

Main assumptions for Total Flux Method are:

1. Magnetic flux distribution inside of the coil (area A) is the same as in a piece of an infinitely long system;
2. Magnetic flux pattern outside of the coil (areas B) is approximately the same as for an empty coil.

Under these assumptions it is possible to calculate magnetic resistances of different parts of the system and compose a magnetic substitution circuit. In the Fig. 1 is given equivalent magnetic circuit.

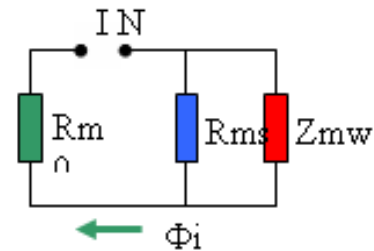


Fig. 1. Equivalent magnetic circuit

Magnetic impedance of the work piece Z_{mw} may be found from analytical or numerical solution of 1D or 2D electromagnetic or coupled electromagnetic plus thermal problem. Magnetic impedance (reluctance) R_{ms} of the gap may be calculated for uniform distribution of magnetic field in the gap, which follows from assumption1. Finally, reluctance of the back path of magnetic flux (areas B, Fig. 1) may be found using Nagaoka correction coefficient for inductance of empty coil. Magnetic flux generated by the coil ampere-turns IN may be calculated directly from the circuit of Fig. 1.

In ELTA program for define work piece are obtain temperature distribution and heat transfer, (3).

In the Fig. 2 is shown the temperature distribution for different distance from the surface of the work piece to its center.

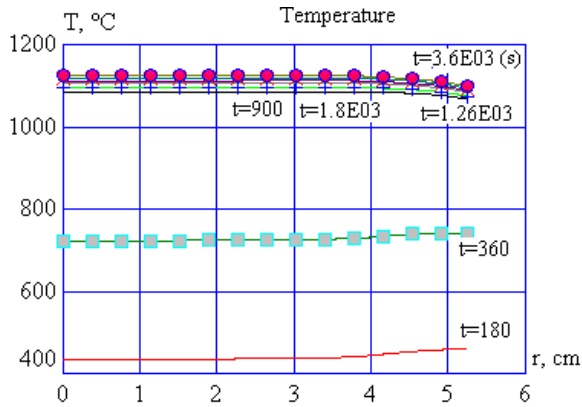


Fig. 2. Temperature distribution on the work piece

As a parameter appears the time for which work piece is exposed on heating. From the diagram it is obvious that after $t = 900$ s temperature in the work piece from surface to its center is 1083°C . So after $t = 900$ s we can say that the metal is melted. In the Fig. 3 is given temperature distribution of the work piece of induction furnace.

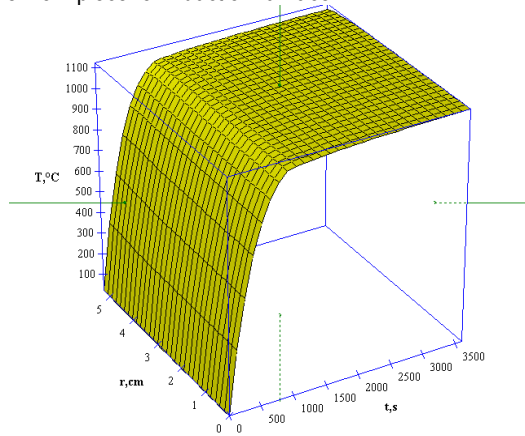


Fig. 3. Temperature distribution of the work piece

From the Fig. 3 it is obvious that after a time of 900 seconds all points of work piece reach a temperature of 1083°C .

Also, in Elda simulation program are obtain wave forms of the magnitudes of the system inductor work piece. In the Fig. 4 are present the power, the current, the voltage, and the impedance of the power converter.

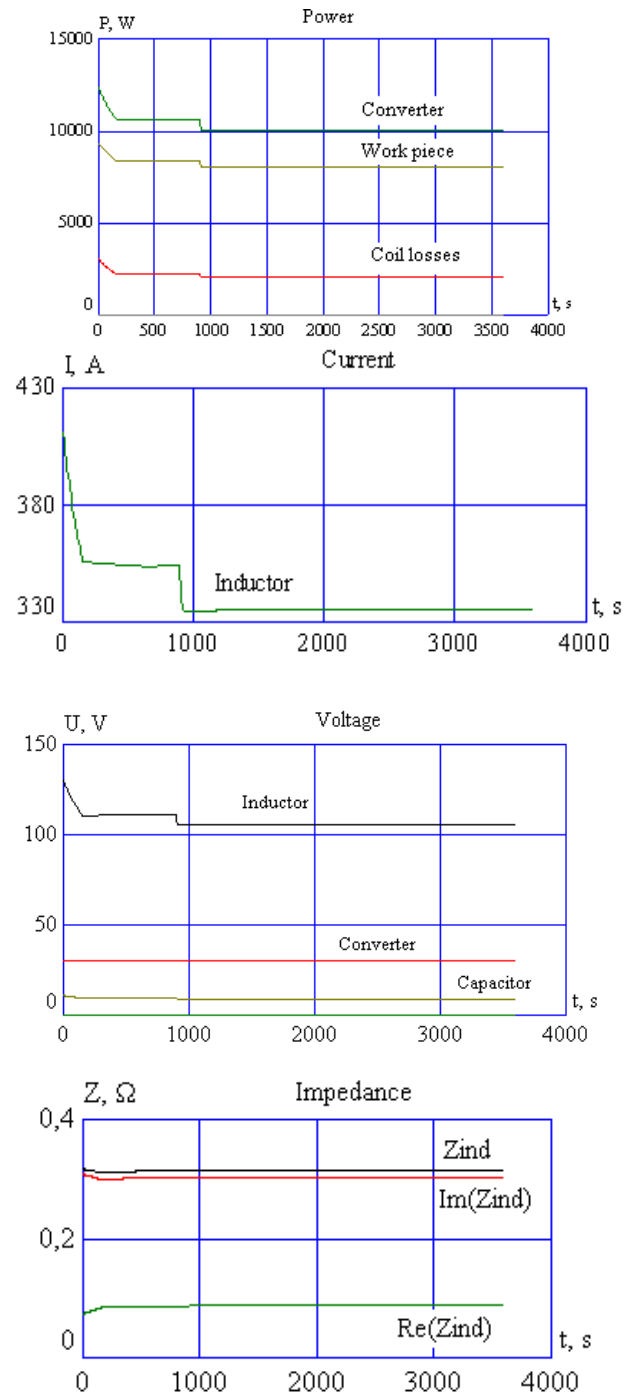


Fig. 4. Power, current, voltage and impedance

In the Fig. 5 are given the current density, the efficiency, the inductance and $\cos\phi$ for the work piece copper.

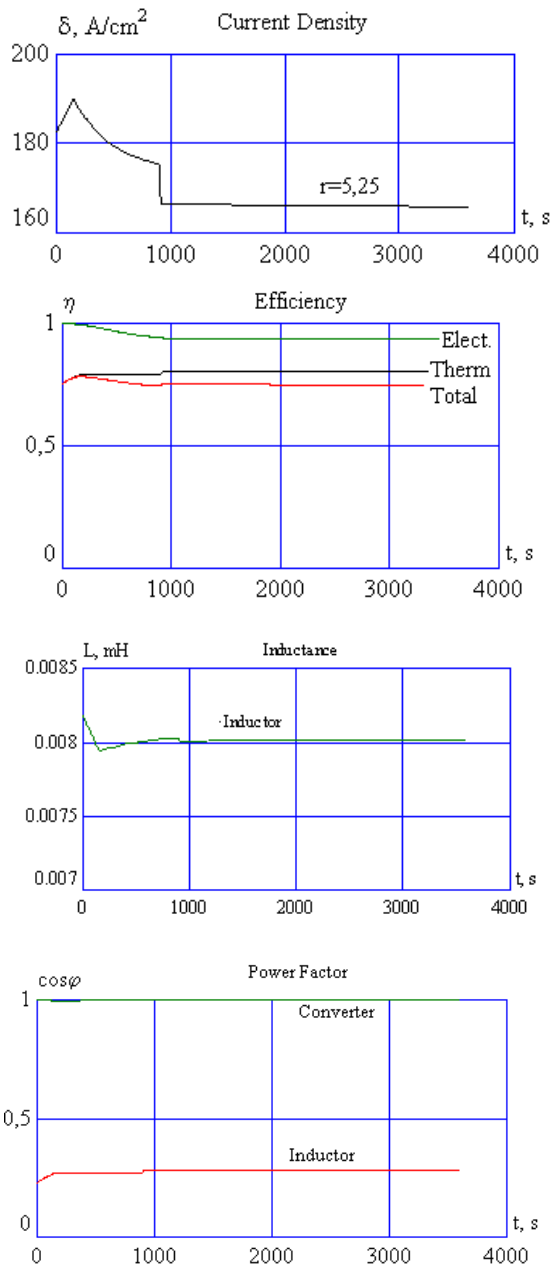


Fig. 5. Current density, efficiency, inductance, $\cos\varphi$

In the table 1 are present values of the parameters L, R and magnitudes I_{in} (inductor current), P (power converter) of the system inductor work piece.

Table 1

	L(μH)	R(Zind)	C(μF)	$I_{in}(A)$	P(kW)
min	7.9	0.073	86	335	10.6
max	8.2	0.089	88	410	12.2

The analysis of the Fig. 3, 4, 5 and table 1 shows that the power converter must operate under the following conditions:

- Required maximum power on the converter is 12kW.
- Maximum output current of the converter is 410A.
- Output voltage of the converter is 30V.
- The change of the temperature of the work piece from 20 to 1083 °C produces change on the inductance for 2.7%.

- The capacitance of the resonant circuit for compensate on the inductance is 86μF.
- The change of the inductance produces change of power of the converter for 13%.
- When the inductance is minimum, the power and the current have a minimum value and vice versa.
- When the resistance is minimum, the power and the current have a maximum value and vice versa.
- $|Z_{ind}| = \sqrt{R_e^2 + I_m^2}$ is a module of the impedance of the inductor.
- The change of the power of the converter shows that in such variable loads is necessary to build a system for maintaining constant output power.

PowerSim simulation program. For defined power, current and frequency on the induction device obtained in Elda simulation program by the PowerSim simulation program are designed power converter with using simulation circuit in Fig. 6.

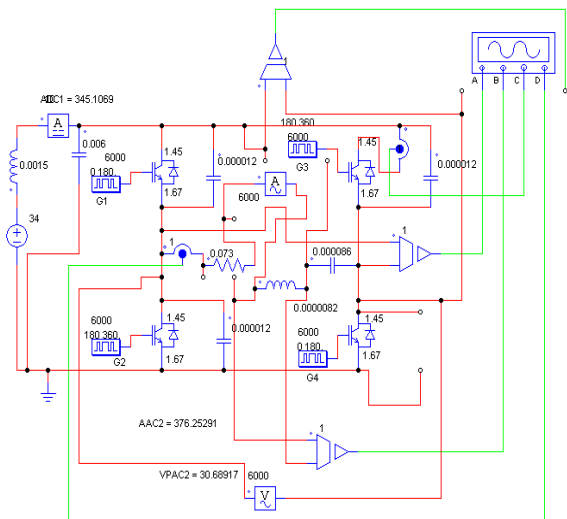


Fig. 6. Simulating circuit in the PowerSim program

The circuit for simulation of the Fig. 6 is tested for the minimum (1) and maximum (2) values of magnitude obtained by ELTA program, table 2.

Table 2

test	L(μH)	R(Zind)	C(μF)
(1)	8.2	0.073	86
(2)	7.9	0.089	88

The results are presented in the table 3.

Table 3

	I_{DC} (A)	U_{DC} (V)	P_{DC} (kW)	U_o (V)	I_o (A)	S_o (kVA)	$\cos\varphi$ (°)	η (%)
(1)	360	34	12.2	30.7	391	12	0.99	98
(2)	300	34	10.2	30.5	323	9.9	0.99	96

In the table 3 the sizes are:

- $U_o = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u_{out}^2(t) dt}$
- Ψ is phase angle among U_o and I_o
- $P_{conv} = S_o \cos \psi$
- $\eta = \frac{S_o \cos \psi}{P_{DC}} 100\%$ is efficiency on the full bridge converter

In the Fig. 7 is given the wave shapes of output voltage and output current of the converter.

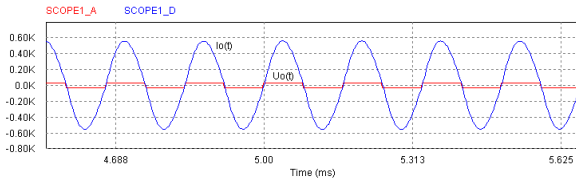


Fig. 7. Output voltage and output current

SemeSiel simulation program. In the simulation program SemeSiel the converter is optimized in term of the switching losses, table 4 and the temperature losses, table 5 and Fig. 8

Table 4

	SKM200GB12T4		SKM300GB066D		SKM400GB066D	
	rated current	overload	rated current	overload	rated current	overload
P_{cond}	153 W	181 W	99 W	113 W	91 W	103 W
$P_{sw tr}$	16 W	18 W	9.8 W	11 W	8.97 W	9.98 W
P_{tr}	169 W	199 W	109 W	124 W	100 W	113 W
$P_{cond d}$	0.00 W	0.00 W	0.0 W	0.00 W	0.00 W	0.00 W
$P_{sw d}$	4.3 W	4.69 W	3.2W	3.41 W	3.4 W	3.64 W
P_d	4.3 W	4.69 W	3.2W	3.41 W	3.4 W	3.64 W
P_{tot}	692 W	813 W	450 W	511 W	413 W	466 W

Table 5

	SKM200GB12T4	SKM300GB066D	SKM400GB066D
T_h	117 °C	119 °C	90 °C 91 °C
T_c	130 °C	134 °C	99 °C 101 °C
T_{tr}	154 °C 162 °C	115 °C	119 °C 106 °C 109 °C
T_d	131 °C	135 °C	100 °C 101 °C 95 °C 96 °C

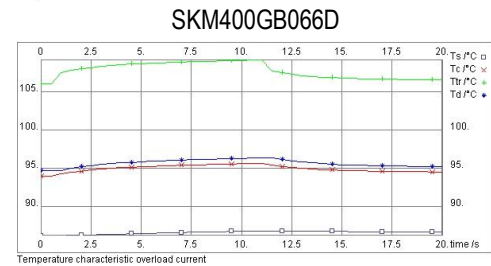
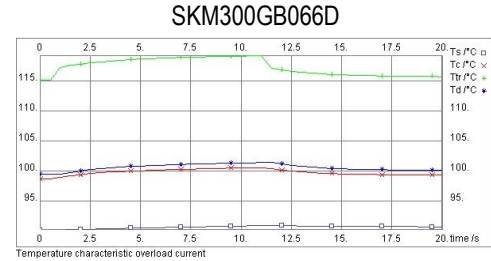


Fig. 8. Temperature losses for 3 different IGBT

B. Analysis of results

- The mode of the induction heating has changing dynamic which affects of the parameters on the resonant circuit, Fig. 4 and 5, and table 1.
- The full bridge converter satisfies the requirements for power and current defined in the table 1.
- Configuration of the full bridge converter with IGBT transistors SKM400GB066D has best features in term of power losses and the temperature losses, table 4 and 5.
- Because the mode of induction device has a variable dynamic, the converter which operates with such device in applications where is required constant output power must monitor and regulate the output power with adequate methods of management.
- The frequent and phase control are methods of management on these converters.

3. Conclusion

In the paper is presented method for calculation of induction furnace with computer simulation programs. By computer simulation solving of problems on distribution of the electromagnetic field and the heat transfer in metals is easy and simple.

In the paper is used ELTA simulation program for estimation of the electromagnetic field and the head transfer for work piece metal with cylindrical geometry.

For the defined power, current and frequency on the induction device obtained in ELDA simulation program by the PowerSim simulation program are designed power converter.

By the simulation program Semesiel converter is optimized in term of the switching and the temperature losses.

References

- Ericson R.W.2000. *Fundamentals of Power Electronics*, Kluwer.
- ELDA 4.1, 2009.*Fluxcontrol, simulation program*.
- WWW.PowerSim.com, *simulation program for power electronic 8.0.5*
- Stefanov G. Dambov R. 19-20.10.2009. *Fundamental principes of working in resonant converter for induction heating*, MGU International Scientific Conference, Sofia, VOL.52, pp. 23-27.

Stefanov G. 13-14.10.2009. *Computer simulation on the topologies of resonant converters used in induction cookers*, International Scientific Conference "CONFERENG 2009" Tg-Jiu, Romania, ISSUE 2/2009, pp.161-170.

WWW.semikron.com, *simulation program semesiel for power electronic*

Viriya P. Yongyuth N. and Matsuse K. 2008. *Analysis of Two Continuous Control Regions of Conventional Phase Shift and Transition Phase Shift for Induction Heating Inverter under ZVS and NON-ZVS Operation*, IEEE.

Yan Y. Regan Z. June 2004. *Digital Phase Control for Resonant Inverters*, IEEE power electronics letters, VOL. 2, No. 2.

Marius Orban, Maria Orban, Kuril Ianakiev, Evtim Kartzelin, *Static converters and their application*, St. "Ivan Rilski", Publishing house, University of mining and geology, Sofia, 2002,

Recommended for publication of Editorial board

ПОВИШАВАНЕ КАЧЕСТВОТО НА ДАННИТЕ ЧРЕЗ ПРИЛАГАНЕ НА СИСТЕМАТА VEZNA

**Николай Янев¹, Кънчо Иванов², Иван Казанджиев³, Начко Халачев⁴, Георги Георгиев⁵,
Петя Костова⁶**

¹ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: niki@mgu.bg

² Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: kivanov@mhu.bg

³ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: i.kazandjiev@gmail.com

⁴ Мини Марица - изток ЕАД, E-mail: NHALACHEV@marica-iztok.com

⁵ Мини Марица - изток ЕАД, E-mail: g.georgiev@marica-iztok.com

⁶ Мини Марица - изток ЕАД, E-mail: pkostova@marica-iztok.com

РЕЗЮМЕ. Напоследък интензивно се развива теорията Data Quality. Основна задача на тази теория е разработката на методи и на средства за анализ и повишаване качеството на данните. Задачата, която възникна пред нас при усъвършенстване на информационната система с уеб базиран интерфейс на Програмния продукт за пренос и обработка на информация от ж.п. везна в разтоварището на ТЕЦ „Марица Изток 2“ е от типа задачи, които са обект на теорията Data Quality. Сред методите развивани в Data Quality е методът "Еволюционно развитие (отглеждане) на информационната система – развитие и подобряване на функционалните й характеристики в условията на непреустановено функциониране". Този подход е икономически изгоден, когато е налице голяма информационна система с развити функционални възможности, върху която се надгражда допълнение, обогатяващо системата със съвременни инструменти, подобряващи качеството на данните. В подобни условия подмяната на цялата информационната система с качествено нова обикновено е неоправдано.

IMPROVING THE QUALITY OF DATA THROUGH APPLICATION OF THE SYSTEM VEZNA

Nikolay Yanev¹, Kantcho Ivanov², Ivan Kazandjiev³, Nachko Halachev⁴, Georgi Georgiev⁵, Petia Kostova⁶

¹ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 София, E-mail: niki@mgu.bg

² University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 София, E-mail: kivanov@mgu.bg

³ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 София, E-mail: i.kazandjiev@gmail.com

⁴ Mini Maritsa - iztok EAD, E-mail: NHALACHEV@marica-iztok.com

⁵ Mini Maritsa - iztok EAD, E-mail: g.georgiev@marica-iztok.com

⁶ Mini Maritsa - iztok EAD, E-mail: pkostova@marica-iztok.com

ABSTRACT. Recently there is intensive development of the theory of Data Quality. The main task of this theory is the development of methods and tools for analysis of data quality, and their improvement as well. The task before us which emerged in the development of the advanced information system with web-based interface for transmission and processing of information from the train balance in the unloading facility of HPP "Maritsa Iztok 2" is the type of tasks that are the subject of the theory of Data Quality. Among the methods developed in Data Quality is the "Cultivation of the information system - development and improvement of its functional characteristics while the system continues to function. This approach is cost-effective and yet there is a large information system with advanced features which can serve as foundation to build on, enriching the system with modern tools for improving data quality. In such conditions the replacement of the entire information system with a new quality one is usually unwarranted.

Въведение

Напоследък интензивно се развива теорията Data Quality. Основна задача на тази теория е разработката на методи и средства за анализ и за подобряването на качеството на данните.

Предмет на настоящото обсъждане е спецификата на резултата постигнат при усъвършенстване чрез web базиран интерфейс на съществуваща в „Мини Марица - изток“ ЕАД информационна система (ИС). Обект на подобрението в разглеждания случай е Програмен продукт за пренос и обработка на информация от ж.п. везна в

разтоварището на ТЕЦ „Марица Изток 2“. Така оформилата задача се разглежда от авторите като подходяща за приложение на методите разработвани от теорията Data Quality.

Data Quality

Осигуряване на Data Quality (DQ) е процес на проверка на надеждността и ефективността на данни. Поддържането на качеството на данните изисква обработването им и периодичното им пречистване. Обикновено това включва актуализиране, стандартизиране и избягване на

дублиране на документи, за да създаде единен изглед на данните, включително и от разнородни системи.



Фиг. 1. Data Quality Integration Platform

Сред методите развивани в Data Quality е методът “Еволюционно развитие (отглеждане) на информационната система – развитие и подобряване на функционалните ѝ характеристики в условията на непреустановено функциониране”. Този подход е икономически изгоден, когато е налице сложна информационна система с развити функционални възможности, върху която се надгражда допълнение, обогатяващо системата със съвременни инструменти, подобряващи качеството на данните. В подобни условия подмяната на цялата информационната система с качествено нова обикновено е неоправдано.

Следвайки добрите практики препоръчвани в Data Quality бе разработена представената тук система „VEZNA”. Тя се базира на разработена и използвана в „Мини Марица - изток” ЕАД информационна система.

Текущо положение

Приложението на ИКТ в „Мини Марица - изток” ЕАД се осъществява от специалисти със значителен опит, прилагащи съвременните средства и технологии за информационното обслужване на дружеството. Развитите функционални средства обхващат основните дейности и предоставят необходимата информация в желаната форма на подходящия получател в определеното време. Качествено проектираният корпоративен web-сайт, умело подбраната система за защита на данните и за гарантиране срещу неоторизиран достъп, целесъобразното проектиране на различните бази данни – всичко това, съчетано с адекватно подбиране на софтуерните инструменти, хардуерните компоненти и компетентно поддържане на комуникационната среда гарантира в условията на „Мини Марица - изток” ЕАД съвременни условия за ефективно използване на модерните ИКТ. Специфичното за дейността на специалистите по ИКТ от „Мини Марица - изток” ЕАД е, че те постоянно подобряват и усъвършенстват разработените средства за информационно

обслужване с оглед стратегията на дружеството за перспективно развитие.

Една от работещите в „Мини Марица Изток” ЕАД информационни системи е система отчитаща информацията от ж.п. везна в разтоварището на ТЕЦ „Марица Изток 2”. Тя е разработена от отдел “Информационни технологии” на „Мини Марица – изток” ЕАД.

Данните от везната постъпват в ИС чрез въвеждането им от диспечер.

За реализация на система са използвани СУБД FireBird 1.5, като хранилище на данни и Delphi за реализация на интерфейса.

Данните се съхраняват в един файл в типичния за FireBird .fdb формат. В този файл се помещава информация за всички обекти на базата данни – таблици, потребителски процедури, тригери, индекси и др. Това прави БД лесно преносима, но крие и редица рискове, като например това, че повреда в който и да било обект води до увреждане на целия файл (цялата БД).

ИС предлага множество справки и отчети предоставящи на потребителите текстова информация.

Система VEZNA

Предназначението на системата „VEZNA” е да допринесе за усъвършенстване на съществуващата информационна система. Тази система е разработена от специалисти на МГУ “Св. Иван Рилски” при колегиалната и професионална подкрепа и съдействие от страна на специалисти от ИТ отдела на „Мини Марица - изток” ЕАД.

Система „VEZNA” покрива следните функционални потребности:

- web базиран достъп до данните;
- графична визуализация на данните;
- филтри за избор на конкретни данни;
- извличане на данни за отминал период;
- графични контроли за следене на параметри.

Работата по реализиране на система „VEZNA” премина през няколко етапа:

1. Проучване на съществуващи информационни системи в „Мини Марица Изток” ЕАД и избор на работен обект /ж.п. везна в разтоварището на ТЕЦ „Марица Изток 2”/.
2. Проучване на работния обект /ж.п. везната в разтоварището на ТЕЦ „Марица Изток 2”/ и събиране на информация.
3. Обработка на събраната информация.
4. Реализиране на системата.

Реализация на система VEZNA

Структуриране на усъвършенстваната информационна система.

Анализът на съществуващата ИС доведе до следните изводи:

- Описаната по горе ИС, която е създадена от отдел "Информационни технологии" на „Мини Марица – изток“ ЕАД, покрива потребностите от натрупване, обработване и предоставяне на необходимата информация. Тя е изградена в съответствие с традиционните изисквания към съвременни ИС от този тип. Системата постоянно се развива и усъвършенства от отдел "Информационни технологии" на „Мини Марица – изток“ ЕАД. Анализът на функционалните характеристики откроява отсъствието на специализирана компонента за визуализиране на данните в съответствие с модерните технологични решения в областта на информационните технологии.;

- С оглед повишаване ефективността на работата бе решено да се добавят нови компоненти, осигуряващи web базиран достъп до данните и тяхната графична визуализация. Именно тази задача бе възложена на работен колектив от МГУ "Св. Иван Рилски", който през целия период на изпълнение на тази задача работи координирано с колеги от отдел "Информационни технологии" на „Мини Марица – изток“ ЕАД. Тази допълнителна разработка бе именована система „VEZNA“;

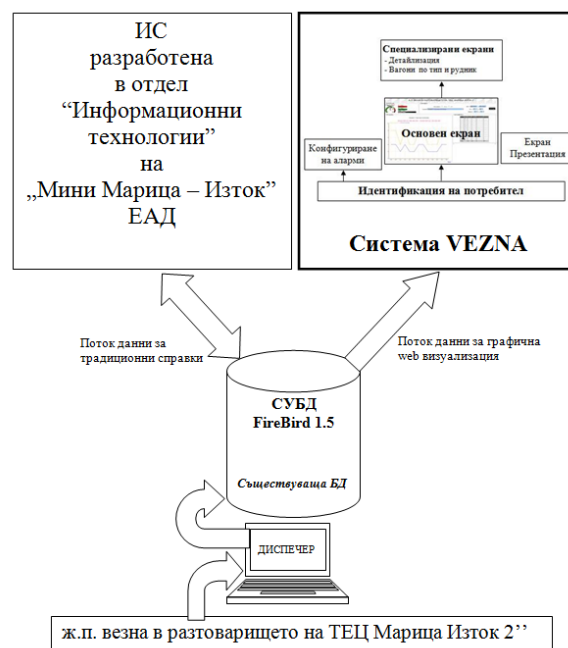
- С цел осигуряване на високо качество на разработката и с оглед покриване изискванията на Възложителя бяха проучени и анализирани множество програмни инструменти.

Система „VEZNA“ е съобразена и съвместима с приетите в „Мини Марица-изток“ ЕАД програмни продукти за графично и таблично представяне на данните и приетата в Дружеството координатна система.

Проект за интегриране на системата към съществуващата база данни.

Система „VEZNA“ използва входни данни от БД на ИС отчитаща информацията от ж.п. везна в разтоварището на ТЕЦ „Марица Изток 2“, разработена в отдел "Информационни технологии" на „Мини Марица – изток“ ЕАД. От друга страна тя контролира достъпа на потребителите и им предоставя данните в съответна графична форма чрез WEB-базиран достъп.

На фиг. 2. е представена схема илюстрираща структурата на система „VEZNA“ в рамките на съществуващата ИС и във взаимодействие с поддържаната в нея БД.



Фиг. 2. Схема илюстрираща структурата на система „VEZNA“ в рамките на съществуващата ИС

Списък на използваните в система VEZNA таблици и потребителски процедури, предоставящи входни данни. (Представяват разработка на отдел "Информационни технологии" на „Мини Марица – изток“ ЕАД)

Таблица 1

Обект	Приложение
Таблица: USERS	Вход в приложението
Таблицы: VLAKF, VLAKS Процедура: REP_KGACV	Основен екран
Таблица: R_KGACV Процедура: REP_KGACV	Справка 1: Тегло и АС на въглища
Таблица: R_KG_VLAK Процедура: REP_KG_VLAK	Справка 2: Влакове по тегла – бруто и тара
Таблица: R_HH_VLAK Процедура: REP_HH_VLAK	Справка 3: Влакове по часове – бруто и тара
Таблица: R_KG_VAGON Процедура: REP_KG_VAGON	Справка 4: Вагони по тегла – бруто и тара
Таблица: R_STAY Процедура: REP_STAY	Справка 5: Престой на влакове
Таблица: R_KGACV Процедура: REP_AC_BG	Справка 6: Тегло и АС на въглища по претоварачи
Таблица: R_KURS Процедура: REP_KURS	Справка 7: Курсове на влакове
Таблицы: VLAKF, VLAKS, VAGONF, VAGONS Процедура: REP_KGACV	Справка 8: Вагони по тип и рудник
Таблицы: VLAKF, VLAKS, VAGONF, VAGONS	Екран „Детайлизация“
Таблицы: VLAKF, VAGONF, VAGONS	Екран „Вагони по тип и рудник“
Таблицы: VLAKF, VLAKS Процедура: REP_KGACV	Екран „Презентация“

Структура на системата

Структурата на системата е показана на фиг. 3.



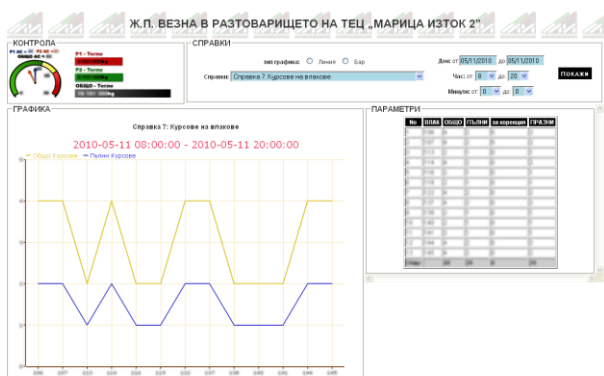
Фиг. 3. Структура на система VEZNA

Дизайн на системата

Дизайнът на системата е показана на фиг. 4, а на фиг.5, е показана примерна визуализация на данните.



Фиг. 4. Дизайн на система VEZNA



Фиг. 5. Екран от система VEZNA

Реализиране на системата

Интерфейсът на системата бе реализиран със свободно разпространявани програмни продукти:

- FireBird сървър за БД, версия 1.5, като БД бе предоставена от ВЪЗЛОЖИТЕЛЯ;
- PHP, версия 5, за изграждане на интерфейс и комуникация с БД;
- FlashDevelop и Open Source Flex SDK за реализиране на контроли и графика;
- CSS за форматиране на информацията в web браузър.

Системата е съвместима с приетите в Мини Марица-Изток ЕАД програмни продукти (корпоративен web сайт), координатна система, браузър с инсталиран FLASH player (версия равна или следваща 9.0) – Internet Explorer (версия

равна или следваща 8.0), Mozilla Firefox (версия равна или следваща 3.5);

Апробацията на системата VEZNA с реални данни доказва категорично функционалността, съвместимостта и приложимостта на разработката.

Възможности на система VEZNA

Работа с оторизирани потребители

За вход в система VEZNA (фиг. 6) е нужно да се въведат коректни потребителско име (Login) и парола (Password).

Фиг. 6. Вход в система VEZNA

Визуализиране на справки

Справките се извличат от БД, предоставена от ВЪЗЛОЖИТЕЛЯ. Основните са:

- Екран за презентация – визуализира контроли за тегло и пепел за текущата смяна (фиг. 7);



Фиг. 7. Екран „Презентация“

- Основен екран. Тегло и АС на въглица – оперативна информация - Зарежда се при вход в системата. Динамично и хронологично визуализира за текущата смяна данните за претеглените влакове, като при избор на влак се дава цялостна информация за свързаните с него параметри (Вагон – тара, бруто и нето и съответните им Тегло и Статус) – екран „Детайлизация“ (фиг. 8). Допълнителни филтри – Влак и Багер.

Фиг. 8. Екран „Детайлизация“

- Справка 1. Тегло и АС на въглица – Хронологична информация. Визуализира таблично данните за претеглените влакове за зададен период (дата, час до дата, час). При графично представяне на данните по оста X се разполага времето. Изчертават се параметрите: Средно

пепел P1, Средно пепел P2, Средно пепел ТЕЦ2 и други консуматори. Допълнителен филтър – Рудник.

– Справка 2. Влакове по тегла – бруто и тара. Хронологична информация. Наличните данни се представят в таблична и графична форма. Графиката е „линия“ или „бар“. По ос X се разполага теглото.

– Справка 3. Влакове по часове – бруто и тара. Хронологична информация. Наличните данни се представят в таблична и графична форма. Графиката е „линия“ или „бар“. По ос X се разполага време – часове от 0 до 24ч. В графиката се отчита натрупването по дни на влаковете.

– Справка 4. Вагони по тегла – бруто и тара. Хронологична информация. Наличните данни се представят в таблична и графична форма. Графиката е „линия“ или „бар“. По ос X се разполага теглото.

– Справка 5. Престой на влакове. Хронологична информация. Наличните данни се представят в таблична и графична форма. Графиката е „бар“. По ос X се разполага номер на влак. Изчертават се параметрите: Престой, Товарене, Пътува, Престой ТЕЦ2 и други консуматори.

– Справка 6. Тегло и АС на въглища по претоварачи. Хронологична информация. Наличните данни се представят в таблична и графична форма. Графиката е „линия“ или „бар“. По ос X се разполага периода. Изчертават се параметрите: АС на ТЕЦ2 за всеки багер.

– Справка 7. Курсове на влакове. Хронологична информация. Наличните данни се представят в таблична и графична форма. Графиката е „линия“ или „бар“. По ос X се разполага номер на влак. Изчертават се параметрите: Общо, пълни и празни влакове.

– Справка 8. Вагони по тип и рудник. Хронологична информация. Динамично и хронологично визуализира, за текущата смяна, данни за вагони, като при избор на влак се дава цялостна информация за свързаните с него параметри (Вагон – тара, бруто и нето и съответните им Тегло и Статус) - екран „Вагони по тип и рудник“ (фиг. 9). Допълнителни филтри – Тип, Рудник и Влак. В таблична форма се представя текуща информация за параметрите.

Вагони бруто:				Вагони тара:				Нето:	
No	Вагон	Тегло В	Статус	No	Вагон	Тегло Т	Статус	No	
7 059	25 200	30,0		7 059	25 200	30,0		7 059	25 200
9 219	24 250	30,0		9 219	25 800	30,0		9 219	24 450
9 480	27 100	30,0		9 480	24 300	30,0		9 480	26 800
9 112	29 950	30,0		9 112	24 400	30,0		9 112	25 550
9 191	26 200	30,0		9 191	24 700	30,0		9 191	25 500
7 040	26 050	30,0		7 040	24 750	30,0		7 040	21 300
9 202	26 900	30,0		9 202	25 700	30,0		9 202	25 200
9 284	27 150	30,0		9 284	24 150	30,0		9 284	21 000
9 254	27 800	30,0		9 254	24 100	30,0		9 254	21 200
9 171	25 850	30,0		9 171	24 300	30,0		9 171	24 750

Фиг. 9. екран „Вагони по тип и рудник“

Следене на параметри в графична контрола:

- Тегло въглища
- АС Въглища

Отразяване на сменен режим на работа.

Първа смяна от 8ч. до 20ч. Втора смяна от 20ч. до 8ч. Направеният избор е в съответствие с организацията на работа в „Мини Марица – изток“ ЕАД

Период на обновяване на информацията (закъснение при визуализация на данните)

Информацията се обновява на 10 минути. Има и възможност за опресняване на данните в избран от потребителя момент, чрез бутон Refresh на брузъра (клавиш F5).

Хроника

В система „VEZNA“ е предоставена възможност за отразяване на данни за отминал период.

Настройка

В система „VEZNA“ са предвидени модули за конфигурация на достъпа до базата данни и за конфигурация на аларми.

Крайният резултат бе информационна система предоставяща на потребителя данни за параметри и справки със съпътстваща графична информация и индикации.

Бъдещо развитие на система VEZNA

FLASH технологията поддържа много богат инструментарий за създаване на привлекателни и интерактивни приложения, които биха били полезна част за всяка една информационна система. Програмният език на FLASH – ActionScript, много добре комуникира с технологии като PHP и XML и JavaScript. Благодарение на тази си функционалност и лесна интеграция FLASH форматът е удобно средство за осъществяване на полезни и лесни за употреба нововъведения в информационните системи (създаване на потребителски интерфейси или осъвременяване на съществуващи такива, създадени чрез други технологии). Считаме че изброените предимства на FLASH технологията, особено в комбинация с XML, могат да бъдат използвани при наблюдение и визуализация на данни от други обекти в Мини Марица – изток“ ЕАД.

С оглед все по-широкото приложение на XML базирани инструменти, като средство за съхранение, пренос и обработка на данни, в система VEZNA може да бъдат добавени модули за прехвърляне на данни в XML формат от и в системата. Това би улеснило комуникацията на системата с други информационни системи работещи в „Мини Марица – изток“ ЕАД, а също така и изготвянето на отчети базирани на данни съхранявани в XML формат. За целта могат да бъдат използвани възможностите на PHP за създаване и обработка на XML данни и XML базирани инструменти, а именно XML Schema за валидиране на данни и XSL(XSLT и XSL-FO) за трансформиране и преформатиране, включително и в RTF и PDF формати.

Съхраняването на данни в XML формат би улеснило и графичната им визуализация от програмни инструменти като FLASH и SVG.

Заклучение

Има различни методи за повишаване на Data Quality. Много фирми производители на софтуер (SAP, Oracle, IBM и др.) са разработили решения подпомагащи повиша-

ването на Data Quality. Подобни софтуерни инструменти са много скъпи.

Друг възможен подход при осъществяване на DQ е „еволюционното развитие на данните“. Този метод е по-евтин, тъй като не се налага подмяна на използваната информационна система. От тук произлиза и друго предимство на подхода – възприема се по-добре от поддържащия персонал, поради това че не се налага реорганизиране на цялата дейност. Подходът на еволюционно развитие не отрича радикалното преминаване към нови платформи и цялостни преустройства. Подобни преходи се налагат поради развитието на ИКТ.

Този подход бе предпочетен от нас, защото ни даде възможност да използваме съществуващата база данни, а интерфейсът на система „VEZNA“ да бъде подобен на вече използвания при обработка на тези данни.

Повишаване на качеството на данните се изразява в добавяне на web интерфейс и графична визуализация на данни. Но главното в случая се състои в опростяване на достъпа на потребителя до широк набор от съпътстващи данни, обогатяване на формите на представяне на данните, като освен табличната се използва графичната и сигнализиращата концепция. Всичко това прави работата на диспечерите и потребителите много по-лесна, като предоставя необходимата информация в бързо усвояема форма и удобна за бързо осмисляне и адекватно реагиране.

Прилагането на web интерфейс цели осигуряване на високо, съвременно ниво на достъп до данните чрез използване на клиент – сървър архитектура.

Препоръчана за публикуване от
катедра „Информатика“, МЕМФ

Графичната визуализация на широк кръг технологично обвързани параметри създава за потребителите лекота при възприемане на ситуацията и съкращаване на техническото време за взимане на решение, което по същество създава условия за по-ефективна работа.

От друга страна подробната информация, която е представена чрез разнообразно оцветяване и специализирано сигнализиране създава удобство при работата на потребителите и им спестява времето за допълнителен анализ.

Степента на детайлизацията или общността на представяне на информация е предоставена за избор от страна на потребителите по време на диалога и това създава благоприятна работна среда с оглед разнообразните условия за взимане на решение.

Литература

- Ivanov, K. 1972. "Quality-control of information: On the concept of accuracy of information in data banks and in management information systems". The University of Stockholm and The Royal Institute of Technology. Doctoral dissertation
- Chapman, A. D. 2005. *Principles of Data Quality*, version 1.0. Report for the Global Biodiversity Information Facility, Copenhagen.
- <http://www.firebirdsql.org/>
- <http://www.php.net/>
- <http://www.flashdevelop.org/>
- <http://livedocs.adobe.com/flex/3/html/help.html>

МАТЕМАТИЧНИ МОДЕЛИ НА КОНВЕКТИВНА ГАЗОВА ДИФУЗИЯ В МИННИ ИЗРАБОТКИ

Петко Лалов ¹, Десислава Симеонова ²

¹ Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, E-mail: p.lalov@gmail.com ² Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, E-mail: desysimeonova@abv.bg

РЕЗЮМЕ. В настоящия доклад се разглежда общия модел на конвективна газова дифузия в минни изработки. Статията третира някои частни случаи, които се илюстрират с компютърна симулация и компютърна анимация. Даден е математичен модел за решаване на обратни коефициентни задачи за експериментално определяне на коефициента на турбулентна дифузия.

MATHEMATICAL MODELS OF CONVECTIVE DIFFUSION OF GAS STREAM IN A MINE WORKING

Petko Lalov ¹ Desislava Simeonova ²

¹ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: p.lalov@gmail.com

² University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: desysimeonova@abv.bg

ABSTRACT. The general model of convective diffusion of gas stream in a mine working is covered in [1]. The present study examines some particular cases illustrated by computer simulation and computer animation. A mathematical model for solving inverse coefficient problems is given, as the one for experimentally defining the coefficient of turbulent diffusion.

Въведение

В тази статия обект на изследване е замърсяването на минни изработки вследствие различни въздействия, като човешка дейност, източници на вредни газове, акумулация и абсорбция от стените на изработката и други. В [1] е даден общ математичен модел на конвективна газова дифузия в крайна минна изработка, описан от K.Z. Ushakov (1984) в [2] и е намерено неговото аналитично решение. На базата на този модел и неговото решение се разглеждат редица частни случаи, които се илюстрират графично и с компютърна анимация при програмната им реализация.

Математичен модел

Дадена е минна изработка с дължина l . Повечето от газодинамичните процеси, протичащи в нея могат да бъдат описани с уравнението на конвективната дифузия:

$$\frac{\partial c(x,t)}{\partial t} + v \frac{\partial c(x,t)}{\partial x} - D \frac{\partial^2 c(x,t)}{\partial x^2} = f(x,t) \quad (1)$$

$$c(0,t) = \mu(t), \quad t > 0 \quad (2)$$

$$c(x,0) = \varphi(x) \quad (3)$$

$$\frac{\partial c(x,l)}{\partial x} = 0, \quad \varphi(0) = \mu(0) \quad (4)$$

където

$c(x,t)$ - концентрация на газ

v [m/s]- скорост на въздуха

D [m²/s]- коефициент на турбулентна дифузия

$f(x,t)$ - функция описваща акумулация и абсорбция от стените на изработката (CH₄, CO₂).

Аналитичното решение на (1) при начални и гранични условия (2)- (4) е намерено в [1] и се дава с израза:

$$c(x,t) = e^{ax+bt} \left\{ \int_0^l K(x,\xi,t) e^{-a\xi} \varphi(\xi) d\xi + \mu(0) \int_0^l K(x,\xi,t) \left(\frac{a\xi}{1+al} + \int_0^t K(x,\xi,x-\tau) e^{-(a\xi+b\tau)} f(\xi,\tau) d\xi d\tau + \int_0^t K(x,\xi,x-\tau) e^{-b\tau} (\mu'(\tau) - b\mu(\tau) \left(\frac{a\xi}{1+al} - 1 \right)) d\xi d\tau \right) + e^{ax} \mu(t) \left(1 - \frac{ax}{1+al} \right) \right\} \quad (5)$$

където: $a = \frac{v}{2D}$, $b = -\frac{v^2}{4D}$, а интегралното ядро K се пресмята чрез бързо осцилиращият към 0 ред:

$$K(x,\xi,t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2e^{-D\delta_n t} \sin \delta_n x \sin \delta_n \xi}{l - \frac{\sin 2\delta_n l}{2\delta_n}},$$

δ_n - положителните корени на трансцендентното уравнение

$$\operatorname{tg} \delta_n l = -\frac{\delta_n}{a}$$

От това общо решение ще отделим някои частни случаи и ще представим графично техните решения.

Проветряване на замърсена изработка

В този случай приемаме, че изработката е обгазена равномерно и трябва да се прочисти във времето. Данните с които са направени изчисленията, както и началните и гранични условия (2)-(4) са: $v=1\text{m/s}$, $D=25\text{m}^2/\text{s}$, $l=100\text{m}$;

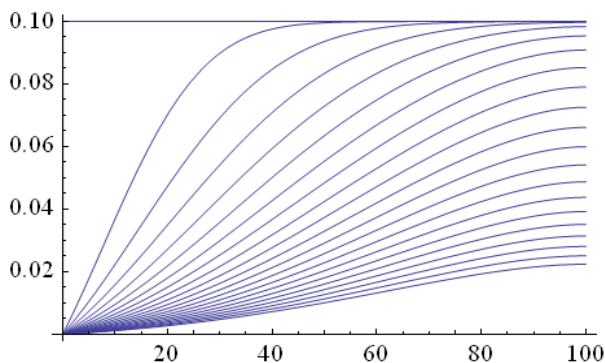
$$c(x,0) = 0.1, \quad x > 0$$

$$c(0,t) = 0, \quad t \geq 0$$

$$\frac{\partial c(x,l)}{\partial x} = 0$$

$$f(x,t)=0$$

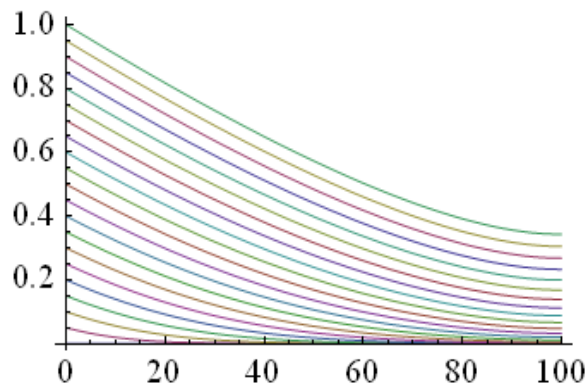
На фиг.1 са показани графиките на $c(x,t)$ за $0 < t < 100\text{s}$ през 5 секунди и $0 < x < l$.



фиг.1

Наличие на източник на замърсяване в началото на изработката

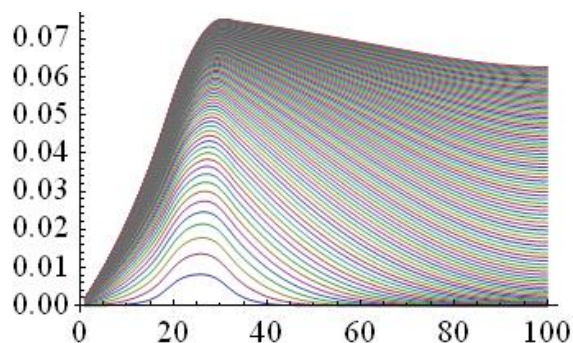
В този случай приемаме, че в момент $t=0$ изработката е чиста, или $c(x,0)=0$ и започва отделяне на газ в началото $x=0$ с интензитет, зависещ линейно от времето, $c(0,t)=0.01t$. Останалите данни са същите. На фиг.2 са представени резултатите.



фиг.2

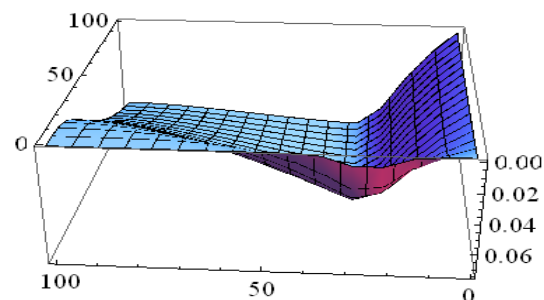
Емисия на газ от стените на изработката

Приемаме, че изработката не е замърсена, $c(x,0)=0$. В момент $t=0$ от стените на изработката в участък от 20m до 30m започва отделяне на газ с постоянен интензитет $f(x,t)=0.01$, $20 < x < 30$. След 100 секунди картината ще бъде следната (фиг.3).



фиг.3

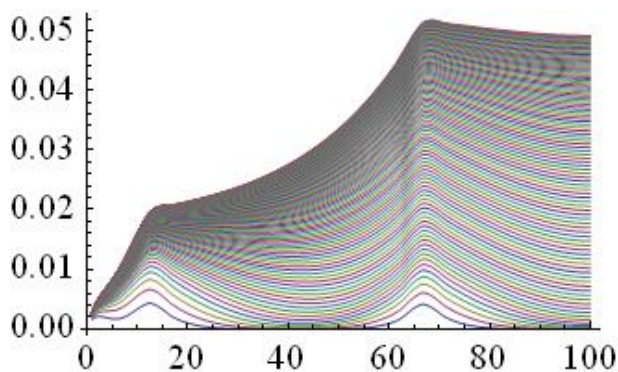
На фиг.4 е показана и три- мерната графика на $c(x,t)$.



фиг.4

По- долу са показани резултатите при два участъка от изработката при които има изтичане на газ от стените:

$$f(x,t) = 0.01npu \quad 10 < x < 15 \text{ и } 65 < x < 70$$



фиг.5

Експериментално определяне на коефициента на турбулентна дифузия

Една от важните задачи е определянето на коефициента на турбулентна дифузия. Приемаме, че $\varphi(x)$ е известна, а $\mu(t) = 0$ и $f(x, t) = 0$.

На разстояние m от изработка се регистрира концентрацията на газ

$c(m, t_1), c(m, t_2), \dots, c(m, t_k)$ експериментално.

Аналитичното решение на (1) е

$$\bar{c}(x, t) = \frac{e^{ax+bt}}{\sqrt{4\pi Dt}} \int_0^l K(x, y, t, D) \varphi(y) e^{-ay} dy,$$

$$K(x, y, t, D) = e^{-\frac{(x-y)^2}{4Dt}} - e^{-\frac{(x+y)^2}{4Dt}}$$

Конструира се функцията

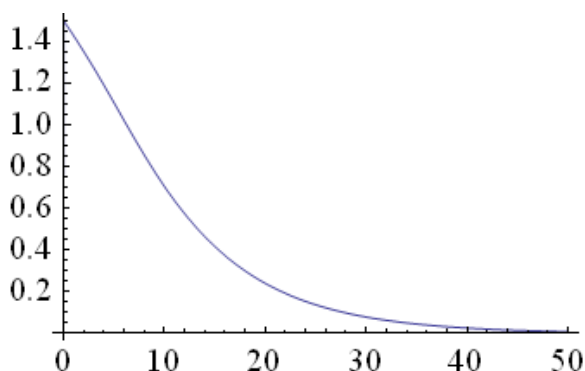
Препоръчана за публикуване от катедра „Информатика“, МЕМФ

$$\Phi(D) = \sum [c(x, t_j) - \bar{c}(x, t_j)]^2 \quad (6)$$

D се определя от $\min \Phi(D)$

Численият експеримент е направен при $v=3\text{m/s}$, $D=25\text{m}^3/\text{s}$ и $m=50\text{m}$, за интервал от време 50s.

Регистрираната крива на изменение на концентрацията на разстояние 50m от началото на изработката за 50 s е на фиг.6



фиг.6

Минимизирайки функцията (6) за D беше получена стойност $25.099\text{m}^3/\text{s}$, която е изключително близка до действителната.

Литература

Petko Lalov, A General Model Of Convective Diffusion Of Gas Stream In A Mine Working, New Dehi, India, 2000
Ushakov K.Z, gas dynamics of shafts, Nauka, Moscow, 1984

ИЗПОЛЗВАНЕ НА OPEN SOURCE HARDWARE ПЛАТФОРМА В УЧЕБНИЯ ПРОЦЕС

Здравко Илиев¹, Диана Ташева²

¹ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: iliev@mgu.bg

² Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: diana_detcheva@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Представени са методически и технически решения, базирани на OSH платформата Arduino Duemilanove, предназначени за провеждане на лабораторни упражнения по дисциплините "Измерване на неелектрични величини" и "Микроконтролери".

OPEN-SOURCE HARDWARE PLATFORM USAGE IN THE EDUCATION PROCESS

Zdravko Iliev¹, Diana Tasheva²,

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

² University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: diana_detcheva@abv.bg

ABSTRACT. Technical and methodical decisions are presented, based on the OSH platform Arduino Duemilanove, to be used as laboratory practice for the specialized subjects "Non-electrical property measurement" and "Microcontrollers".

Постановка на проблема

Бурното развитие на технологиите и техническите средства, както и динамиката на производството и пазара поставят все по-сериозни изисквания към качеството на подготовката на завършващите висше инженерно образование. Стремехът е не само практическата им подготовка да е на равнище позволяващо лесна адаптация и пряка реализация в производството, но те трябва да бъдат носители и на иновационни идеи. Това с особена сила се отнася за младите специалисти в областта на автоматиката, информационната и управляващата техника, компютърните технологии.

От друга страна анализът на условията в които се извършва обучението им, налага отчитането на редица негативни тенденции:

- съкращаване на времето за обучение;
- намаляване на броя на часовете на пряка заетост на студентите в аудиториите и специализираните лаборатории;
- материална база, която в преобладаващата си част е материално и физически остаряла и невъзможност за обновяването и с темпове, съответстващи на развитието на съвременните технологии;
- липса на инвестиционна политика, насочена към повишаване квалификацията на преподавателите;

- неосигуреност на учебния процес със специализирани приложни софтуерни и хардуерни продукти, явяващи се база за обучение по специализиращи дисциплини.

Голяма част от изброените проблеми са резултат от ограниченото финансиране на държавните технически ВУЗ, което е напълно неадекватно на поставените изисквания към тях.

В тези условия голямо предизвикателство пред преподавателите е търсене на решения, чрез които с минимални разходи и в относително кратки срокове да се постигне:

- обновяване на материалната база;
- подобряване на организацията и ефективността на провеждане на лабораторните упражнения;
- създаване на условия за самоподготовка на студентите.

Една от възможните стъпки в това направление е разработването и внедряването в учебния процес на стендове и модели, базирани на General Public License, Creative Commons Attribution-ShareAlike License, Open source hardware, Free and open source software, Lesser General Public License и др.

Възможности за приложение на платформата ARDUINO в учебния процес и развойната дейност

Едно от най-бързо развиващите се направления в областта на автоматиката и компютърните технологии е проектирането, разработването и приложението на технически средства, базирани на микро- и наноконтролери. В повечето случаи те и съпътстващите ги развойни среди са скъпи, а от гледна точка на обучението изискват и специализирани стендове за самостоятелното решаване на конкретни задачи. Това създава значителни проблеми при подготовката на студентите от бакалавърската и магистърската степен по дисциплини като “Импулсна и цифрова схемотехника”, “Микропроцесорна техника”, “Микроконтролери”, и др.

До момента провеждане на упражненията по тези дисциплини бе изцяло базирано на микроконтролери от фамилия Intel 80C51. Програмирането се извършваше на Assembler. За развойна среда се използваше EDSIM51 (<http://edsim51.com>) Този подход беше избран поради следните причини:

- програмирането на Assembler позволява на студентите задълбочено да вникнат в архитектурата и особеностите на управление на ресурсите на микроконтролерите;
- средата EDSIM51 е общодостъпна, лесна за работа и с добри възможности за онагледяване на състоянието на всички основни компоненти на микроконтролера във всеки момент от време;
- осигурени бяха необходимите учебни помагала.

Наред с това, няколкогодишния опит показва, че този начин на организация на упражненията е свързан със значителни проблеми. Основният е необходимостта, в рамките на ограничения хорариум, студентите да усвоят и използват език от ниско ниво, какъвто е Assembler. Тази задача се оказва много тежка за болшинството от тях. В резултат често се нарушава и необходимия баланс от усвоени хардуерни и софтуерни познания. Негативно влияние оказва и фактът, че при обучението в преобладаващата част от случаите се използват програмно симулирани периферни устройства и обекти за управление, което в известна степен намалява мотивацията и интереса на студентите.

Промяна в подхода за провеждане на тези упражнения се обмисляше, но пречка за предприемане на реални стъпки беше липсата на достатъчно финансиране за изграждане на нова материална база. Възможност за решаване на проблема бе открита в информацията изнесена на конференцията, организирана от “Линукс за българи” (<http://conf.linux-bg.org/>) през април 2009 г. под наименованието “Open Source Hardware (OSH) & Physical Computing”. На нея бяха представени идеите OSH и Physical Computing и бе споделен опитът в създаването на софтуерно/хардуерни системи, базирани на OSH платформата ARDUINO (<http://arduino.cc/>).

Особености на платформата Arduino

- Arduino е отворена, лесна за употреба и достъпна платформа за общуване между компютърни системи и физическия свят с много ниска цена;
- Програмирането и се извършва с помощта на вариант на езика C++, обогатен със специализирани конструкции за управление на ресурсите на контролера;
- Осигурен е достъп до голям брой библиотеки с подпрограми;
- Програмирането и захранването става през USB порта на компютъра.
- Съществуват вградени комуникационни процедури;
- Техническите характеристики на Arduino позволяват лесна реализация на множество често срещани в практиката задачи свързани със събиране на данни от аналогови и цифрови сензори, изготвяне на прототипи и изработване на системи, които да реагират на промени в околната среда и др.
- Голяма част от разработките, реализирани чрез тази платформа се публикуват в Internet под условието за безплатно и свободно ползване.

Приложимост на платформата Arduino в учебния процес, научните изследвания и приложните разработки

Направените проучвания показаха, че:

- платформата Arduino а се вписва отлично в подготовката и провеждането на широк кръг от лабораторни упражнения, свързани с използването на микрокомпютърната техника, програмирането и създаването на информационно-измервателни и управляващи системи;
- тя е удобна среда за разработване на специализирани приложения, както в областта на експерименталните изследвания, така и в областта на контрола и управлението на различни обекти.

Този извод се базира не само на описаните по-горе особености на платформата Arduino, но и на следните факти:

- В МГУ програмният език C се изучава още в началните семестри от обучението. Съчетаването на предварително придобитите знания в това направление с получените по дисциплината «Импулсна и цифрова схемотехника», както и големият набор свободностъпни библиотеки позволяват в рамките на едно стандартно лабораторно упражнение студентите да проектират и създават прототип на система, да я програмират и изследват поведението и.

- Съчетанието на възможностите на Arduino за измерване на аналогови сигнали и осъществяване на комуникация по почти всички известни интерфейси с предлаганите на пазара сравнително евтини интелигентни сензори, комуникиращи си по стандартен интерфейс, позволява чрез сравнително прости и преди всичко типови софтуерни решения много бързо и лесно да бъдат създавани измервателни системи базирани на датчици, съществено различаващи се по своя принцип на работа и характеристики. При това, тези системи лесно могат да бъдат реконфигурирани, което позволява:
 - бърза смяна на лабораторните упражнения чрез създаване на базов модел и включване и изследване на различни видове сензори;
 - бърза реализация с цел оценка на ефективността на различни решения при проектиране и разработване на измервателни системи.
- Възможността на Arduino да комуникира с персонален компютър чрез стандартен USB порт позволява снемането на характеристиките на различни обекти да се извършва в реално време.
- Възприетият подход за използване на софтуер с отворен код и свободен хардуер, както и Криейтив комънс лиценза под който се разпространяват материалите свързани с платформата, значително намаляват необходимостта от разработването на специализирани учебни материали. Например всички материали, необходими за провеждането на лабораторните упражнения по дисциплината "Микроконтролери" с използване на платформата Arduino са публикувани в Internet и са достъпни за свободно ползване. Те са богато илюстрирани със снимки, схеми, чертежи и филми. Възможно е изтеглянето и на интерактивно ръководство за работа и програмиране, което значително облекчава изучаването на платформата и позволява да се засили процента на самостоятелност в работата на студентите. Пълните ръководства за работа и програмиране на платформата са преведени на български и са достъпни безплатно на сайта на дистрибутора на Arduino за България (<http://robotev.com/>). Наред с това в YouTube могат по всяко време да се видят голям брой филмчета с Arduino проекти. Това позволява на

студентите и другите ползватели на Arduino платформата да бъдат запознати с най-новите разработки, идеи и софтуер при разработването на различни видове устройства и системи.

- Arduino се предлага в различни модификации, различаващи се по броя входно-изходни портове, аналогови входове и изходи, обем на RAM, EEPROM и FLASH памет и др. Това позволява за всяко едно конкретно приложение да бъде избран контролер, удовлетворяващ в най-пълна степен поставените изисквания по отношение на необходимите технически ресурси за реализация на дадената задача. При това всички модификации са напълно апаратно и програмно съвместими, което прави безпроблемен трансфера на решения между тях.
- Редица фирми са се ориентирали към производство на готови модули и системи, съвместими с Arduino. Такива например са:
 - ROBOTSTORE (<http://www.robotstoreuk.com/>);
 - ROBOTSHOP (<http://www.robotshop.ca/>);
 - LIBELIUM (<http://www.libelium.com/>);
 - SOLARBOTICS (<http://www.solarbotics.com/>);
 - SPARKFUN (<http://www.sparkfun.com/>) и др.

Това дава много широки възможности както в развойната дейност, така и при обогатяване на учебната лабораторна база.

Разработени специализирани ARDUINO – ориентирани приложения, предназначени за подобряване на лабораторната учебна и научна база

В катедра "Автоматизация на производството" са закупени множество устройства и сензори (за следене на линия; ориентация в пространството, измерване на разстояние, ускорения, натиск и огъване, температура, вибрации и др.), съвместими с платформата Arduino. С тях са разработени и продължават да се разработват нови макети за провеждане на лабораторни упражнения по дисциплините "Микроконтролери" и "Измерване на неелектрични величини".

Синтезирани са принципни схеми и са разработени модули (фиг. 1), позволяващи управление на следните периферни устройства, предназначени за въвеждане и извеждане на информация.

- матрична клавиатура;
- кръгови светодиодни индикатори;
- матрични светодиодни индикатори;
- седемсегментни индикатори;
- светодиоден стълб;
- LCD индикатори;
- многоцветни светодиоди, управлявани на принципа на широчинно-импулсната модулация.

Свързването на тези устройства към Arduino се осъществява чрез проводници и бредборд платки, което позволява конфигурирането на разнообразни устройства и системи.

Разработени са печатни платки, които допускат създаването на различни конфигурации от модули, с което става възможно студентите сами да синтезират схемни решения, отразяващи често срещани ситуации в практиката:

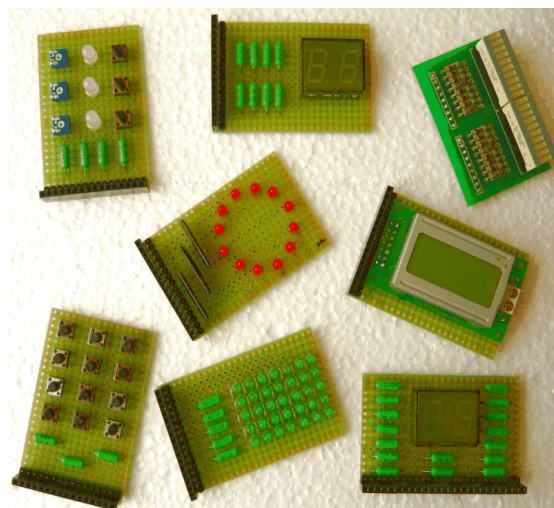
- Контролер за управление на стъпков двигател (фиг. 6);
- Модул преместващи регистри;
- Модул регистри памет;
- Часовник за реално време;
- Модул за управление на I2C EEPROM;
- Комбиниран модул (Фиг. 2), осигуряващ LCD индикация, цифро-аналогово преобразуване, вход от клавиатура, генериране на звук и др. Модулът позволява към него да се включват микроконтролери от различен тип чрез вградения входно/изходен куплунг.

Проектирани са и са изработени преобразуватели на интерфейс TTL RS232 – RS 485, позволяващи връзка между модули Arduino по интерфейс RS485. С това се дава възможност на студентите да създават, изследват и правят експерименти с разсрещочени измервателни и информационни системи.

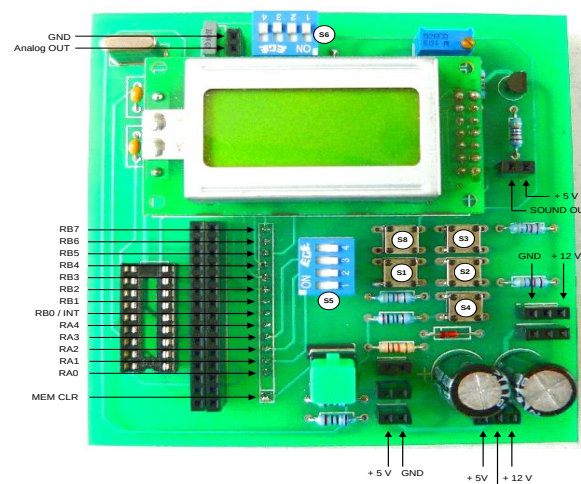
Модулът е съвместим с Arduino платката и не изисква допълнителни свързващи проводници.

Проектирана е и е изработена система за тензометрични измервания (фиг. 4) с използване на модули Arduino и преобразувател AD 7730. Тя е автономна и позволява използването само на процесора на Arduino, без да се налага включването на цялата платформа, освен в режим на програмиране и архивиране на данни към персонален компютър.

Системата е комплектувана с модул за индикация с течнокристален дисплей и е тествана в реална среда при изследване на натоварването на стоманените въжета при подемните механизми на роторните багери.



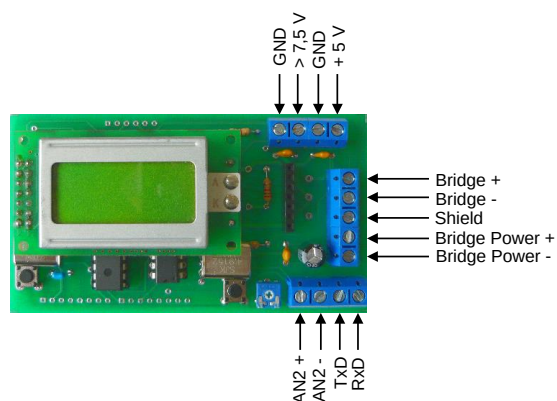
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

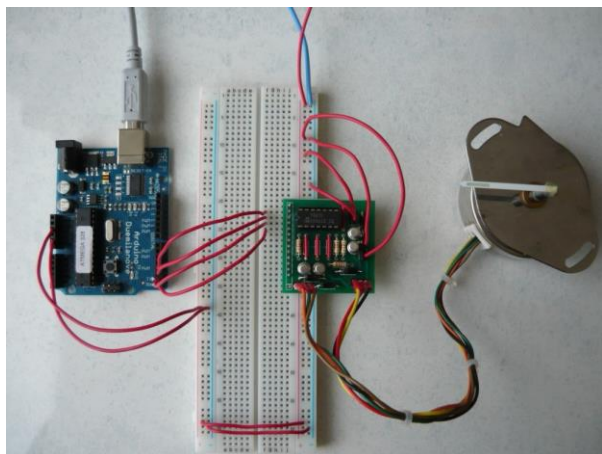


Фиг. 4

С цел усъвършенстване на практическото обучение на студентите по дисциплината “Импулсна и цифрова схемотехника” са разработени и изработени 10 броя устройства, съвместими с платки бредборд, позволяващи захранването им да се извършва от USB порта на персонален компютър (фиг. 5).

Устройствата са свързани с помощта на 3 HUB-устройства и кабели USB A/B в мрежа, при са изградени 10 работни места, позволяващи на студентите едновременно с провеждането на интерактивно обучение, да могат да свързват, експериментират и изследват различни индивидуално разработени схемотехнически устройства.

При провеждането на упражненията платките бредборд могат да се свързват и с Arduino модули при което да се конфигурират разнообразни управляващи системи, както е показано на фиг 6.

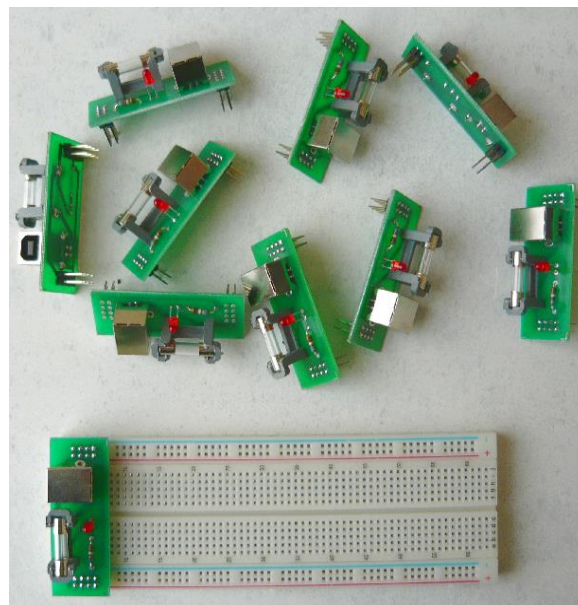


Фиг. 6.

Заклучение

С цел подобряване качеството на практическото обучение по дисциплините “Импулсна и цифрова схемотехника”, “Микропроцесорна техника”, “Микроконтролери” и “Измерване на неелектрични величини”, са разработени множество съвместими с Arduino модули позволяващи:

- синтез и изследване на схемотехнически решения;
- следене на бутони, ключове тач панели, променливи резистори и др.
- измерване на различни технологични параметри като ниво на осветеност и цвят, температура, разстояния, натоварване на механични конструкции;
- комуникация по RS 485, I2C и USB;



Фиг. 5

- управление на прекъсванията, различни типове памети, светодиодни панели, седемсегментни индикатори, LCD дисплеи, аналого-цифровото и цифро-аналоговото преобразуване; стъпкови и постояннотокowi двигатели и др.
- работа в реално време.

Очакваме тяхното приложение в учебния процес и развойната дейност да доведе до:

- постигане на цялостна практическа насоченост на лабораторните занятия;
- повишаване на интереса на студентите;
- по-висока интензивност на преподаване поради възможността за самообучение през Internet;
- подобряване на връзката и приемствеността между отделните изучавани дисциплини;
- създаване на условия за самостоятелна работа на студентите със съвременни технически средства, като те ще могат сами да изграждат системи на базата на готови модули;
- намаляване на времето и разходите за разработване на специализирани измервателни и управляващи системи, базирани на микроконтролери.

Литература

<http://www.ladyada.net/learn/arduino/index.html>
<http://www.robotev.com/robotevinfo.php>
<http://www.libelium.com/>
<http://www.sparkfun.com/>
<http://www.arduino.cc/>
<http://edsim51.com>

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

УСТРОЙСТВО ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА НАТОВАРВАНЕТО НА ПОДЕМНИТЕ ВЪЖЕТА ПРИ РОТОРНИТЕ БАГЕРИ

Здравко Илиев¹, Диана Ташева²

¹ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: iliev@mgu.bg

² Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: diana_detcheva@abv.bg

РЕЗЮМЕ. На базата на OSH платформата Arduino Duemilanove е разработена система за двуканално измерване на натоварването на въжетата на подемния механизъм на роторните багери. Измерването се осъществява на тензометричен принцип и с използване на преобразувателя AD7730. Устройството позволява както непрекъснат контрол на натоварването, така и работа в режим "събиране на данни" с цел оценка на характеристиките на динамичните процеси

LOAD MEASURING DEVICE OF ELEVATION WIRE ROPES IN BUCKET WHEEL EXCAVATORS

Zdravko Iliev¹, Diana Tasheva²,

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

² University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: diana_detcheva@abv.bg

ABSTRACT. A system was developed based on the OSH platform Arduino Duemilanove for dual-channel load measurement of wire ropes in bucket wheel excavators' lifting mechanism. A strain-gauging method is applied using the AD7730 converter. The device allows continuous load control as well as a "data acquisition" mode for dynamic process characteristics evaluation.

ПОСТАНОВКА НА ЗАДАЧАТА

Контролът и ограничаването на натоварванията на въжетата на подемния механизъм на роторните багери е една от основните диагностични задачи, които се налагат да бъдат решавани. При това както ниските, така и завишените стойности на този показател се явяват предпоставка за нарушаване стабилитета на багера.

Отчитайки това, бе поставена задачата за създаване на компактно устройство, което в реално време да осъществява измерване и визуализация на натоварването на двата клона на въжетата.

За осъществяване на измерванията бе избран тензометричен принцип, поради доказаната му ефективност, точност и надеждност при безразрушително експериментално оценяване на напрежено-деформационните състояния на различни обекти (Ермолов И.Н. и Ю. Ланг).

Множество фирми предлагат широка гама тензометрични уредби, като например Тензометрическая станция ZET 017-T8, Скенер Модел 6200, Модел P3 Strain Indicator and Recorder на фирмата VISHAY и др. Анализът на характеристиките им показва, че при създаването им е застъпен принципа на търсене на максимална универсалност по отношение на вида на мостовата схема, използвани измерителни единици, брой канали и др. Това

естествено рефлектира върху цената на изделието. Освен това те са разработени като прибори предназначени за провеждане на експериментални изследвания в ограничен времеви интервал и предоставят удобства при съхраняване и интерпретация на резултатите, но не могат да се използват за контрол в реално време. Поради това се пристъпи към изграждане на специализирано устройство за измерване на натоварването на подемните въжета.

ФУНКЦИИ И ВЪЗМОЖНОСТИ НА УСТРОЙСТВОТО

Съгласно първоначалното задание устройството трябваше да осигури непрекъснато измерване и местна индикация на натоварването на двата клона на въжетата на подемния механизъм на роторния багер. След разработване на първия прототип и проведените лабораторни и промишлени изпитания се оказа възможно и ефективно въвеждането на допълнителни режими на работа и функционални възможности.

Режими на работа

Основният режим, в който устройството работи по подразбиране е измерване и визуализация.

В процеса на изследване и калибриране на устройството се оказа, че линейността на характеристиките се

запазва във всички случаи, но спецификата на конкретната реализация на всяка мостова схема води до съществени различия в дебалансирането на моста при нулево натоварване. Това наложи въвеждане на допълнителен режим - нулиране. Той може да бъде зададен за един от двата канала. След изборът му, с цел филтрация на шума, се извършва последователно десеткратно измерване и усредняване на данните прочетени от регистъра за данни на AD7730. Полученото двоично число се възприема като текуща стойност на отместването при преобразуването на прочетения 24-битов код във физическа величина и се записва в последователни адреси на EEPROM на Arduino. По този начин се осигурява работа с актуалната стойност на този параметър и след отпадане на захранващото напрежение, тъй като след всеки рестарт на системата се извършва прочитане от EEPROM на стойността на отместването и за двата канала.

С цел разширяване възможностите на разработеното устройство в областта на диагностиката, беше предвиден режим на сканиране. Той дава възможност за събиране и съхранение на данни, като по този начин се създават предпоставки за статистическа обработка на експерименталните данни. Режимът на сканиране може да се активира за всеки един от каналите поотделно или за двата канала едновременно. В зависимост от желания интервал на дискретизация T_0 , сканирането може да се реализира в два варианта. При $T_0 > 0,3$ s непосредствено след всяко измерване получените резултати се предават към преносим компютър чрез вградения в Arduino USB интерфейс. В този случай обемът на извадката е неограничен. При $0,04 < T_0 < 0,3$ измерените данни се съхраняват в RAM паметта на компютъра и след приключване на измерванията се извършва прехвърляне на целия пакет от данни към персоналния компютър. В този случай обемът на извадката не може да надхвърля 800 записа поради ограничения обем на вградената RAM памет.

Допълнителни възможности

Показанията от системата се използват за настройка на крайните изключватели, явяващи се защита срещу охлабено и пренатегнато въже. Освен това е възможно паралелно с измерванията да се натрупва ограничена по обем база от данни (от порядъка на 400 измервания за всеки един от каналите), която непрекъснато да се актуализира. При евентуално сработване на някой краен изключвател натрупването на данни се прекратява и полученият до момента информационен масив може да бъде извлечен и анализиран с цел установяване на причината за нарушаване на нормалния технологичен режим на работа.

ХАРДУЕРНА РЕАЛИЗАЦИЯ

Устройството за измерване на натоварването на въжетата на подемния механизъм на роторните багери е изградено от четири основни блока /фигура 1/:

- микроконтролер – Arduino Duemilanove с процесор ATMEGA 328;

- модул за индикация, изграден на базата на LCD индикатор AC082AYILY-H;
- клавиатурен блок;
- измервателен модул.

Измерването на натоварването се осъществява паралелно за двата клона на подемните въжета с помощта на два тензометрични моста.

Arduino модулетът разполага с 6 аналогови входа и 14 входно/изходни пина, позволяващи въвеждане и извеждане на цифрови сигнали, два от които са запазени за комуникационния канал. Предимството на този модул е, че той е с отворен код и сам по себе си представлява развойна система, която може да се използва съвместно с персонален компютър, самостоятелно като локална система или само като процесор, когато не е необходимо осъществяване на връзка за предаване на информация по USB интерфейса.

Захранването на модула може да се осъществи през USB порта, през POWER конектора, или чрез предвидените за целта входни пинове, разположени на интерфейския куплунг.

LCD индикаторът AC082AYILY-H позволява извеждането на информация на 2 реда по 8 символа. За управлението му са използвани 6 пина на микроконтролера и 4-битовата Arduino LCD библиотека - *LCD4BitLibrary*, достъпна за ползване през официалния сайт на Arduino (<http://www.arduino.cc>). Осигурена е постоянна подсветка на индикатора, тъй като на устройството се налага да работи в затъмнени помещения.

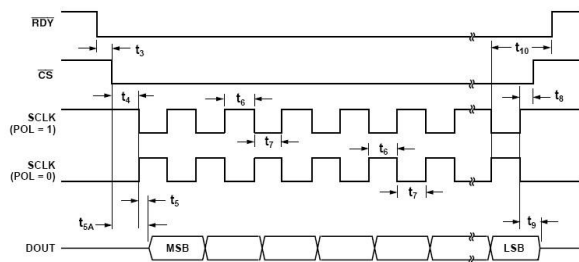
Клавиатурният блок включва три бутона, съответно за избор на режим на работа - *MODE*, потвърждение на избраната команда - *ENTER* и бутон за изход - *ESC*.

С бутон *MODE* се превключват шестте основни режима на работа – стандартен режим на измерване по двата канала от тензометричните мостове, режим на нулиране на канал 1, режим на нулиране на канал 2, сканиране на канал 1 с максимално бързодействие, сканиране на канал 2 с максимално бързодействие и паралелно сканиране на двата канала с максимална скорост. Първото му натискане привежда системата от стандартен работен режим в избор на нов режим от меню. Преходът от един към друг елемент на менюто се извършва също с бутон *MODE*.

С бутон *ENTER* се потвърждава изпълнението на избраната команда, а бутон *ESC* превключва устройството в стандартен режим на измерване.

Бутоните са свързани към три от аналоговите входове на контролера както следва:

- бутон *MODE* – към аналогов вход 5;
- бутон *ENTER* – към аналогов вход 4;
- бутон *ESC* – към аналогов вход 3.



Фиг. 4. Времениаграма при четене.

Стойностите на критичните времеви интервали са дадени в таблица 1.

Таблица 1

t	$T_{min}[ns]$	$T_{max}[ns]$
t_3, t_4, t_8, t_{11}	-	-
t_5	-	60
t_6, t_7, t_{14}	100	-
t_9	10	80
t_{10}	-	10
t_{12}	30	-
t_{13}	20	-

Представен е обектният код на подпрограмите за работа с регистрите на AD7730.

И в двете подпрограми е използван формален параметър br за задаване броя битове в записваната или четена информация, тъй като отделните регистрите на AD7730 са с различна разрядност.

Организация на програмата.

Програмното осигуряване е проектирано и реализирано на модулен принцип и включва: еднократно изпълняван инициализиращ модул SETUP, 16 подпрограми, чието предназначение е дадено в таблица 2 и ядро на програмата LOOP, което автоматично се изпълнява циклично.

Модулът SETUP:

- инициализира серийния интерфейс за връзка с персоналния компютър при скорост на обмен 9600 bps;
- определя пиновете като входове или изходи в зависимост от предназначението им;
- осъществява начално установяване на схема AD7730 чрез запис на 32 единици в комуникационния и регистър;
- задава коефициенти на филтъра и пълна скала на преобразуване 0-10mV;
- калибрира вътрешната нула за двата канала;
- от EEPROM извлича данните за отместването по двата канала.

Ядрото, чрез обръщение към съответните подпрограми осъществява:

- измерване по двата канала;

- преобразуване на двоичния код във физически величина;
- извеждане информацията на LCD-дисплея.

Освен осигуряването на основния работен режим в LOOP се извършва и проверка на бутон MODE и в случай, че той е активиран – предаване на управлението към подпрограма за смяна на режима.

```
long int read_data(int br)
{ long int rb;
  long int mask;
  int i;
  mask=1;
  mask=mask<<(br-1);
  digitalWrite(cs,LOW);
  rb=0;
  digitalWrite(sclk,HIGH);
  for (i = 0; i < br; i++)
  { digitalWrite(sclk,LOW);
    if
    (digitalRead(dataOut)==HIGH)
      rb=rb+mask;
      mask=mask>>1;
      digitalWrite(sclk,HIGH);
  }
}
```

```
digitalWrite(dataIn,HIGH);
digitalWrite(sclk,HIGH);
digitalWrite(cs,HIGH);
return rb;
}
```

```
void write_data( long int data, int br)
{ long int mask;
  int i;
  mask=1;
  mask=mask<<(br-1);
  digitalWrite(sclk,HIGH);
  digitalWrite(cs,LOW);
  for (i=1; i<=br; i++)
  {
    if (data >=mask)
    { digitalWrite(dataIn,HIGH);
      data=data-mask;
    }
    else
    {digitalWrite(dataIn,LOW);}
    mask=mask>>1;
    digitalWrite(sclk,HIGH);
    digitalWrite(sclk,LOW);
    digitalWrite(sclk,HIGH);
  }
  digitalWrite(cs,HIGH);
  digitalWrite(dataIn,HIGH);
  digitalWrite(sclk,HIGH);
}
```

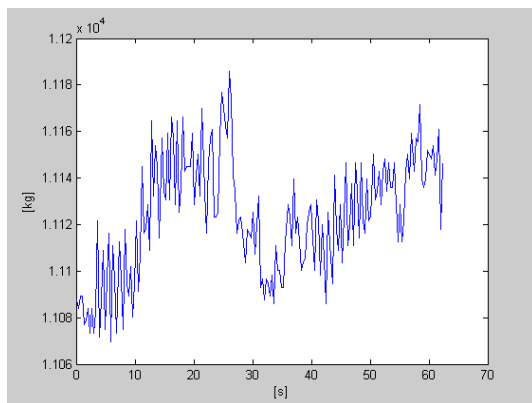
Таблица 2

Наименование	Предназначение	Исползвани подпрограми
Read_data	Четене на данни със зададена разрядност от AD 7730	-
Write_data	Запис на данни със зададена разрядност в регистър на AD 7730	-
Chakam_ready	Циклично адресира и чете Status регистъра на AD 7730 до установяване на бита за готовност в логическа нула	Read_data и Write_data
Reset	Начално установяване на AD 7730	Write_data
Filter	Задава константите на вградения в AD 7730 sinc ³ филтър	Write_data
Calibr	Установява пълна скала на преобразуване и вътрешна нула по двата канала	Write_data и Chakam_ready
PrintNumber	Преобразува двоично число в стринг от десетични цифри и го извежда на LCD дисплея	-
Izm_ch	Управлява измерването по зададен канал	Read_data, Write_data и Chakam_ready
Pr_ch0	Трансформира във физическа величина резултата от аналого-цифровото преобразуване за канал 1	-
Pr_ch10	Трансформира във физическа величина резултата от аналого-цифровото преобразуване за канал 2	-
Izhod_regim	Извежда на LCD дисплея съобщение, съответстващо на текущия режим	-
Sm_regim	Следи бутони MODE и ESC и сменя режима	Izhod_regim
Run_nul	Определя и записва в EEPROM дебалансирането на моста при нулево натоварване	Izm_ch
Run_scan_1ch	Управлява сканирането и предаването на информацията към PC при измерване по един зададен канал	Izm_ch
Run_scan_2ch	Управлява сканирането и предаването на информацията към PC при измерване по двата канала	Izm_ch
Go_run	В зависимост от избрания режим предава управлението към съответната обслужваща подпрограма	Run_nul, Run_scan_1ch и Run_scan_2ch

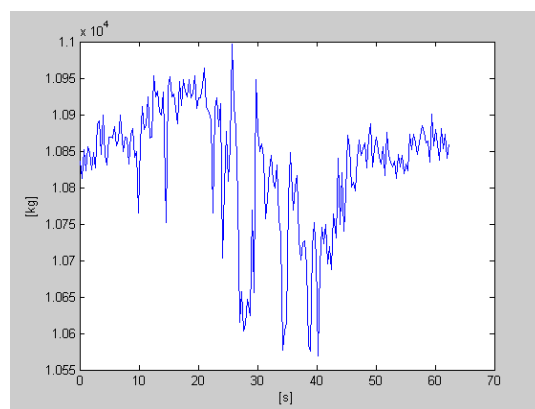
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Устройството е изпробвано на багер Rs 1200 в реални условия в "Мини Марица-изток" ЕАД в режим на непрекъсната работа и събиране на данни паралелно по двата канала, отчитайки поотделно натоварването на лявото и дясното подемни въжета. Резултатите от работата му при задаване последователно на режимите подем – спускане – подем на роторната стрела са представени на фигура 3а, 3б и 3в.

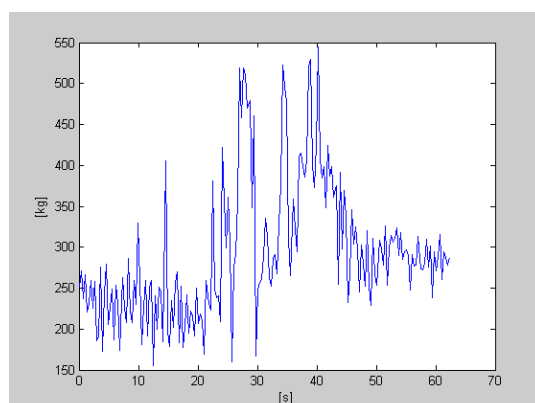
На първите две фигури са показани натоварванията съответно на лявото и дясно въже на подемния механизъм. На третата фигура е представена графика, представяща разликата в натоварванията на двете въжета, отнесени към един и същи момент от време.



Фиг. 3а



Фиг. 3б



Фиг. 3в

Данните показват, че за конкретния случай в режим на спускане се появяват значително по-големи колебания в натоварванията на подемните възжета в сравнение с режима на подем на роторното колело.

Разработеното устройство може да бъде използвано не само за контрол на натоварването на възжетата на подемния механизъм на роторните багери но и при решаване на множество други задачи, свързани с експериментални изследвания, базирани на тензометрия.

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

ЛИТЕРАТУРА

Ермолов И. Н., Ланге Ю. В. Неразрушающий контроль ,
Справочник под ред. В. В. Ключева. Москва,
Машиностроение, 2006. – 864 с.

Тензометрическая станция ZET 017-T8

http://www.zetms.ru/catalog/analyzers/a17_t8.php

<http://www.arduino.cc/playground/Code/LCD4BitLibrary>

LCD Display AC082AYILY-H Data Sheet

Analog Devices AD7730 Bridge Transducer ADC

System 6000 Scanner Model 6200 Tutorial

Модел P3 Strain Indicator and Recorder

ПЛАТФОРМЕНООРИЕНТИРАНА ВРЕМЕВА ОПТИМИЗАЦИЯ НА БЪРЗОТО ФУРИЕ ПРЕОБРАЗУВАНЕ

Ясен Видолов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, e-mail: nre@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Предложена е софтуерна реализация на Бързата Фурие Трансформация, при която чрез използване на особеностите на архитектурата на процесорите от фамилия Intel Pentium и с използване на SSE инструкции е постигнато повишаване на бързодействието с около 30% в сравнение с класическия подход за реализация на тази трансформация.

ARCHITECTURE DEPENDANT REALIZATION OF FAST FOURIER TRANSFORM BY USING SSE INSTRUCTION SET

Yasen Vidolov

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

ABSTRACT. The suggested Fast Fourier Transform code utilizes Intel's Pentium SSE instruction set. The code written in assembler is highly dependent on the architecture. It reduces computation time with 30% than its C-code equivalent.

Въведение

Широкото приложение на Бързата Трансформация на Фурие в различни клонове от съвременната наука е предпоставка за стимулиране търсенето на нови решения за оптимизирането ѝ, като една от целите е минимизиране на времето, необходимо за осъществяване на преобразуването.

Един от пътищата за повишаване на бързодействието е платформеноориентираната оптимизация при която програмната реализация на алгоритъма е съобразена с конкретната изчислителна платформа и ефективно използва ресурсите ѝ. Разбира се това е свързано с компромис по отношение на преносимостта и универсалността на програмния код.

Поради широко наложилата се компютърна архитектура на Intel - Pentium в разработката е предложен код за реализиране на Бързата Трансформация на Фурие с помощта на SSE набор от инструкции.

Анализ на изчислителната специфика и възможност за паралелна обработка на информацията при реализация на БФТ

Дискретната Фурие Трансформация (ДФТ) се реализира чрез N умножения и сумирания за оценка на всеки хармоник, или N^2 умножения и сумирания за целия спектър, където N е обема на извадката от изследвания сигнал, която е подложена на трансформацията. Слож-

ността на алгоритъма по време е $O(N^2)$. При пренареждане на аритметичните операции се постига оптимизиране на алгоритъма до сложност $O(N \log_2 N)$, което води до значително повишаване на бързодействието, като този ефект е особено силно изразен при големи стойности на N . Тази оптимизирана версия е известна като Бърза Фурие Трансформация (БФТ) (C. Sidney Burrus, 2008).

Ключова роля за реализиране на БФТ играе процесът "децимация". Той се състои в разделянето на реда на Фурие на две суми, състоящи се от многочлени, групирани по общ признак - четността.

Дискретната Фурие трансформация може да се представи във вида:

$$F_k = \sum_{n=0}^{N-1} f_n e^{-\frac{j2\pi}{N} kn} \quad (1)$$

където $F = \{F_k\}$ е дискретен вектор от честоти, $f = \{f_n\}$ е дискретен вектор на сигнала за преобразуване ($n=0, 1, \dots, N-1$), 'к' е номерът на преобразувания хармоник ($k=0, 1, \dots, N-1$).

След полагане $W_N = e^{-\frac{j2\pi}{N}}$, редът на Фурие може да се представи във вида:

$$F_k = \sum_{n=0}^{N-1} f_n W_N^{kn} \quad (2)$$

Ако въведем ограничително изискване за четност на N и използваме следните субституции

$$\begin{aligned} 2r &= n, & \text{за четни стойности} \\ 2r + 1 &= n, & \text{за нечетни стойности} \end{aligned} \quad (3)$$

зависимост (1) може да се раздели на четна и нечетна съставна, в резултат на което придобива вида:

$$F_k = \sum_{r=0}^{\frac{N}{2}-1} f_{2r} W_N^{k(2r)} + \sum_{r=0}^{\frac{N}{2}-1} f_{2r+1} W_N^{k(2r+1)} \quad (4)$$

$$F_k = \sum_{r=0}^{\frac{N}{2}-1} f_{2r} W_N^{k(2r)} + W_N^k \sum_{r=0}^{\frac{N}{2}-1} f_{2r+1} W_N^{k(2r)} \quad (5)$$

Като използваме, че

$$W_N^{2r} = W_N^{-\frac{j2\pi}{N} 2r} = W_N^{\frac{-j2\pi}{N} r} = W_N^{\frac{r}{2}} \quad (6)$$

зависимост (5) може да се запише по следния начин:

$$F_k = \sum_{r=0}^{\frac{N}{2}-1} f_{2r} W_N^{kr} + W_N^k \sum_{r=0}^{\frac{N}{2}-1} f_{2r+1} W_N^{\frac{kr}{2}} \quad (7)$$

Анализът на последната зависимост показва, че двете съставлящи я суми са практически Фурие трансформация, приложена върху $N/2$ точки. Също така $W_m^m = W_N^{-j2\pi} = 1$, понеже

$$W_N^{-j2\pi} = \cos(-2\pi) - j \sin(-2\pi) = 1 - j0 \quad (8)$$

съгласно формулата на Ойлер за комплексни числа, от което следва, че

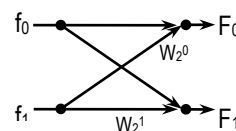
$$W_N^{m+\frac{N}{2}} = W_N^m \quad (9)$$

При $k=N$, то $W_N^k = 1$.

Ако N е число, кратно на 2^x можем да извършваме раздробяване по четност на двата полинома в (7) докато не достигнем до две точки при $r=(0,1)$ и $N=2$. Техните хармоници ще са:

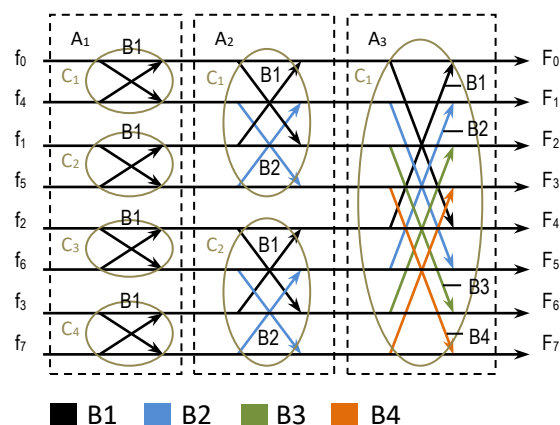
$$\begin{aligned} F_0 &= f_0 W_2^0 + f_1 W_2^0 = f_0 + f_1 W_2^0 \\ F_1 &= f_0 W_2^0 + f_1 W_2^1 = f_0 + f_1 W_2^1 \end{aligned} \quad (10)$$

Тези две уравнения могат да се представят чрез граф, наречен "пеперуда" (фиг. 1), където всяка дъга представлява операция „умножение“, а всеки връх – „сумиране“.



Фиг. 1. Граф, съответстващ на уравнения (10)

По този начин децимацията по време се представя чрез граф, изграден от подграфи-пеперуди (фиг.2).



Фиг. 2. Графично представяне на децимация по време

От графа, представен на фиг. 2 може да се направи извода, че в изчислителен аспект Бързото Фурие Преобразование се свежда до реализиране на 3 вложени цикъла, условно означени с А, В и С (като В е вложен в А, а С - в В). Тогава описването на всяка пеперуда 'X_{abc}' се изпълнява с наредена тройка индекси – а, b, с, принадлежащи на циклите А, В и С. Всеки граф-пеперуда се състои от 2 подграфа, като поредността на входящите им елементи се различава с 1 за итерация А₁, с 2 за А₂, с 4 за А₃ и с 2^{n-1} за А_n. Бързото Фурие преобразование се извършва на етапи, отговарящи на итерациите на цикъл А (А₁, А₂, А₃). Всеки етап се състои от пресмятане на равен брой граф-пеперуди, което дава възможност за паралелна обработка в рамките на този етап. По този начин бързодействието на БФТ ще се повиши многократно.

Особености на Интел SSE-инструкциите

Архитектурата Интел притежава мултимедийно разширение на множеството си от инструкции, като всяка от тях се изпълнява върху набор еднотипни данни (SIMD). По този начин се намалява броя итерации при трансформиране на данните чрез цикъла, в резултат на което времето за изпълнение на повтарящи се операции върху елементите от масива може да бъде редуцирано няколко пъти. Също така SIMD-инструкциите на Интел се изпълняват за по-кратко време спрямо техния предшественик – модулът за пресмятане на стойности с плаваща запетая (x87 FPU).

Конкретната разработка е базирана на SSE3 инструкционно множество. SSE3 инструкциите боравят с 8 броя 128-битови SIMD регистри с общо предназначение (xmm0 ÷ xmm7). Всеки от тях има възможността да съдържа 4 стойности с плаваща запетая, образувайки

пакет от данни. SSE3 инструкция, изпълнена върху 2 SIMD-регистъра е аналогична на изпълнение на операцията поотделно за всяка двойка стойности с общ индекс в операндите. Това е изобразено на фиг. 3.

	float1	float2	float3	float4
xmm-регистър1	A1	A2	A3	A4
	*	*	*	*
xmm-регистър2	B1	B2	B3	B4
	=	=	=	=
xmm-регистър3	A1*B1	A2*B2	A3*B3	A4*B4

Фиг. 3. Изпълнение на операцията "mulps xmm1, xmm2"

Поддържат се и инструкции за пренареждане съдържанието на пакета от данни в регистър (data shuffling). Те са полезни за реализацията на изчислителната процедура.

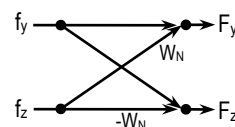
SSE3 инструкциите боравят с 1 или 2 операнда, като единият е допустимо да бъде заменен с адрес от паметта. Поради спецификата на архитектурата и с цел увеличаване на бързодействието на изчислителната операция е желателно адресите от паметта да бъдат кратни на размерността на xmm-регистрите, а именно подравнени на 16 байта.

Реализация на Бързо Фурие Преобразуване чрез SSE-инструкции

Ако входовете на всеки граф пеперуда означим с f_y и f_z , а изходите му с F_y и F_z , (фиг. 4), то графът може да се опише чрез следната система уравнения:

$$\begin{cases} F_y = f_y + Wf_z \\ F_z = f_z + Wf_y \end{cases} \quad (11)$$

Това означава, че за да се приведе в паралелно изчисление, един граф-пеперуда се нуждае от SIMD-регистър с размерност 2 елемента.



Фиг. 4. Граф-пеперуда

Ако боравим с данни с плаваща запетая, притежаващи размерност 4 байта, в един SIMD-регистър ще могат да се пакетират 4 стойности, което ни позволява паралелното изчисление на 2 граф-пеперуди. Това ще доведе до намаляване броя итерации на цикъл 'C' наполовина.

Броят на граф-пеперудите за един етап е винаги кратен на 2, тъй като той е равен на половината от обема на извадката, а тя от своя страна е кратна на 2^k по дефиниция. Това гарантира, че производителността на SIMD-инструкциите ще бъде максимизирана и конвейерната обработка ще е винаги уплътнена. Кодът, реализиращ изчислителната процедура е представен по-долу и обхваща всички итерации от цикъл 'A', с изключение на последната.

Тъй като входните и изходни параметри на преобразованието (f_i , F_i) са комплексни величини, те се представят чрез реална и имагинерна част, записани в два поредни елемента на входния масив 'f', като елементите с четни индекси съдържат реалните компоненти, а нечетните - имагинерните.

Циклите се инициализират с началния адрес на масива, в който се намират входните данни. Резултатите се записват на същите адреси. Това оптимизира допълнително изчислителните операции, свързани с адресирането, като води до увеличаване на бързодействието на всяка итерация. Също така цикълът е с фиксирана стъпка, съответстваща на броя байтове, отделени за съхраняване на всяка стойност, представяна във формат с плаваща запетая, умножен двукратно с разликата между индексите на двете входни стойности на графа-пеперуда. Това силно специализира приложението на кода за конкретния тип процесорна платформа, но за сметка на значително увеличаване на скоростта на изпълнение на програмата.

```

mov     edx,     [n]
shl     edx,     1           //n = 2*n
mov     [n2],   edx
shl     edx,     1           //n = 4*n because var size is 4B
add     edx,     vec         //n_vec = n + (int)vec;
mov     [n_vec], edx
mov     esi,     8           //mov esi, [mmax] //mmax is esi
mov     edi,     8           //mov edi, [mmax] //istep is edi

loop_A:                                     //-----
shl     edi,     1           //istep = 2 * mmax
                                     //mmax_vec = mmax + (int)vec;
                                     //edx is temporal reg
mov     edx,     esi
add     edx,     vec
mov     [mmax_vec],edx

// theta = -8.0f * pi / (float)mmax;
// wtemp = sin(0.5*theta);
// wp[0] = -2.0 * wtemp * wtemp;           //wpr = cos(theta) - 1
// wp[1] = sin(theta); //wpi
movss   xmm0,    [pi8]         //xmm1 = -8*pi
CVTSI2SS xmm1,    esi         //convert mmax to float and save it in xmm1
divss   xmm0,    xmm1         //xmm0 = -8*pi/max(theta) !!! possible division by 0!!!Add exception here
pshufd  xmm0,    xmm0, 0h      //xmm0 (theta, theta, theta, theta) copy theta to all 4 floats
movlps  xmm2,    [mul_theta]  //xmm2 (0.5, 1.0), x, x

```


	mulps	xmm0,	xmm2		//xmm0 (0.5*theta, theta), x, x
	call	sin_ps			//4 float sin functions (in rad): xmm0 = sin(xmm0)
					//xmm0 (sin(0.5*theta), sin(theta), x, x)
	movlps	xmm1,	[mul_theta]		//xmm1 (0.5, 1, x, x)
	movss	xmm1,	xmm0		//xmm1 (sin(0.5*theta), 1, x, x)
	mulps	xmm0,	xmm1		//xmm0 (sin(0.5*theta)^2, sin(theta), x, x)
	mulss	xmm0,	[two]		//xmm0 (-2*sin(0.5*theta)^2, sin(theta), x, x)
	movlps	[wp],	xmm0		//move xmm0 to [wp[0], wp[1]]
					//initialize (wr, wi) with (1, 0)
					//xmm6 contains current (wr, wi) values
	movlps	xmm6,	[cw]		//xmm6 (1,0,x,x)
loop_B:	mov	eax,	[vec]		//counter 'm' is eax
	mov	ebx,	eax		//counter 'i' is ebx
	mov	ecx,	ebx		//ecx is i2
	sub	ecx,	edi		
loop_C:	add	ecx,	edi		//add istep
	add	ecx,	edi		//add istep
					//create vector (wr,-wi, wr, wi)
	movaps	xmm0,	xmm6		//xmm0 (wr, wi, x, x)
	pshufd	xmm0,	xmm0,44h		//xmm0 (wr, wi, wr, wi) 44h = Lo %01 00 01 00 Hi (order: 00 01 10 11)
	mulps	xmm0,	[signs]		//xmm0 (wr,-wi, wr, wi)
					//start butterfly calculation
	movlps	xmm1,	[ebx]		//xmm1 (v1[i], c1[i], x, x)
	movlps	xmm2,	[ebx + esi]		//xmm2 (v1[j], c1[j], x, x)
	movhps	xmm1,	[ecx]		//xmm1 (v1[i], c1[i], v2[i], c2[i])
	movhps	xmm2,	[ecx + esi]		//xmm2 (v1[j], c1[j], v2[j], c2[j])
	pshufd	xmm3,	xmm2,14h		//xmm3 (v1[j], c1[j], c1[j], v1[j]) 14h = %00 01 01 00
	pshufd	xmm4,	xmm2,0BEh		//xmm4 (v2[j], c2[j], c2[j], v2[j]) 14h = %10 11 11 10
					//calculate (tempr, tempi)
	mulps	xmm3,	xmm0		//xmm3 (v1[j]*wr, c1[j]*wi, c1[j]*wr, v1[j]*wi)
	mulps	xmm4,	xmm0		//xmm4 (v2[j]*wr, c2[j]*wi, c2[j]*wr, v2[j]*wi)
	haddps	xmm3,	xmm4		//xmm3(v1[j]*wr+c1[j]*wi, c1[j]*wr+v1[j]*wi, v2[j]*wr+c2[j]*wi,
					// c2[j]*wr+v2[j]*wi) , (tempr1, tempr2, tempi2)
					//here xmm4 is free
					//calculate new values of v[i], c[i]
					//v[i] = v[i] + tempr;
					//c[i] = c[i] + tempi;
	movaps	xmm2,	xmm1		//xmm2 (v1[i], c1[i], v2[i], c2[i])
	addps	xmm2,	xmm3		//xmm2 (v1[i]+tempr1, c1[i]+tempi1, v2[i]+tempr2, c2[i]+tempi2)
	movlps	[ebx],	xmm2		//store new calculated values of (v1[i], c1[i])
	movhps	[ecx],	xmm2		//store new calculated values of (v2[i], c2[i])
					//calculate new values of v[j], c[j]
					//v[j] = v[j] - tempr;
					//C[j] = C[j] - tempi;
	subps	xmm1,	xmm3		//xmm1(v1[i]-v1[j]*wr+c1[j]*wi, c1[i]-c1[j]*wr+v1[j]*wi,
					// v2[i]-v2[j]*wr+c2[j]*wi, c2[i]-c2[j]*wr+v2[j]*wi)
	movlps	[ebx + esi],	xmm1		//store new calculated values of (v1[j], c1[j])
	movhps	[ecx + esi],	xmm1		//store new calculated values of (v2[j], c2[j])
					//loop_C end condition
	add	ebx,	edi		//step
	add	ebx,	edi		//step2
	cmp	ebx,	[n_vec]		//end condition
	jb	loop_C			//Jump If less
					//calculate new normal vector for CORDIC algorithm
					//wr = (wtemp = wr) * wpr - wi * wpi + wr;
					//wi = wi * wpr + wtemp * wpi + wi;
					//xmm0 is (wr,-wi, wr, wi)
	movlps	xmm4,	[wp]		//xmm4 (wpr, wpi, x, x)
	pshufd	xmm4,	xmm4,	14h	//xmm4 (wpr, wpi, wpi, wpr) 14h = Lo %00 01 01 00 Hi (order: 00 01 10 11)
	mulps	xmm4,	xmm0		
	haddps	xmm4,	xmm4		
	addps	xmm6,	xmm4		
					//loop_B end condition
	add	eax,	8		//step = 2*4B
	cmp	eax,	[mmax_vec]		//end condition
	jb	loop_B			//Jump If less
					//mmax = istep
	mov	esi,	edi		//mmax is esi //or shl esi, 1
	cmp	esi,	[n2]		//if(mmax < n/2) loop again
	jb	loop_A			

При последната итерация на цикъл 'A' броят на итерациите на цикъл 'C' е единица, което довежда до отстраняването му. За да се запази максималната производителност чрез едновременната работа върху две граф-пеперуди се паралелизират две съседни итерации от цикъл 'B'. Крайният брой итерации в цикъл 'B' е равен на половината от броя входове и също е кратен на 2, което гарантира плътността на конвеерната обработка и паралелизма на последната итерация.

Други механизми за повишаване на бързодействието, намерили приложение при конкретната реализация

CORDIC-алгоритъм

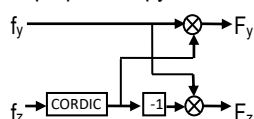
Пресмятането на всяко тегло 'W' се изразява чрез косинусова трансформация. Тя изисква голяма изчислителна мощ, поради което е ефективно да бъде заменена с CORDIC (COordinate Rotation Digital Computer)-алгоритъм. Той е опростен и ефикасен метод за пресмятане на хиперболични и тригонометрични функции (Volder Jack E., 1959). Приложим е за намирането на косинус функция при ъгъл, променящ се монотонно с константна стъпка, какъвто е случаят в конкретното приложение.

При умножение на два вектора V_1 и V_2 получаваме трети V_3 , изразен чрез системата уравнения

$$|V_3| = |V_1| \cdot |V_2| \quad (12)$$

$$\arg(V_3) = \arg(V_1) + \arg(V_2)$$

От тук следва, че ако единият вектор (V_1) има дължина единица и фазов ъгъл δ , то произведението ще е равно на втория вектор (V_2), ротиран с фазов ъгъл δ (David E. Joyce, 1999). При прилагането на този метод за всяка итерация на цикъл 'A' по веднъж се изчислява аргумента на единичния вектор, след което се прилага CORDIC-алгоритъма за всички итерации на програмните цикли 'B' и 'C'. Участието му в граф-пеперуда е показано на фиг. 5.



Фиг. 5. Блокова схема на граф-пеперуда с CORDIC-алгоритъм

Паралелно опростено изчисление на тригонометричните функции

Пресмятането на аргумента е базирано на паралелни синус трансформации, реализирани чрез библиотека за опростено пресмятане на тригонометрични функции. Тя допринася за по-бързото изчисляване на тригонометричните операции и понеже се изпълнява $\log_2 N$ пъти оказва съществено влияние на бързодействието при големи размерности за N .

Регистрова оптимизация

Поради ограничения брой регистри с общо предназначение (GPR), голяма част от загубите на времеви ресурс при изчисления се дължат на прехвърлянето на стойности между регистри и паметта. С цел намаляване на този ефект е предвиден по един регистър за всяка

променлива, необходима за реализацията на Бързото Фурие Преобразование. За целта преди извикването на функцията за реализация на трансформацията се запазва съдържанието на използваните регистри в стека, и след нейното изпълнение те се възстановяват. Карта на използваните регистри е представена в таблица 1.

Таблица 1.

x86 рег.	Предназначение
eax	итератор за брояч 'B'
ebx	итератор за брояч 'C', съответстващ на първия вход на графа-пеперуда
ecx	отместване спрямо итератор 'C', съответстващ на втория вход на графа-пеперуда
edx	променлива с общо предназначение
esi	стъпка между входовете на графа-пеперуда за съответната итерация на цикъл 'A'
edi	стъпка между входовете на графа-пеперуда за следващата итерация на цикъл 'A'

Началните и крайни стойности на броячите 'A', 'B' и 'C' са предварително пресметнати за да се избегне последващо сумиране на всеки итератор с началния адрес на масива на входните и изходни стойности на преобразованието. Техните стойности се съхраняват в паметта в променливи, описани в таблица 2.

Таблица 2.

Идентификатор на променлива	Описание
N	брой входни и изходни стойности на трансформацията
n2	брой входни и изходни стойности на трансформацията, умножени по две
n_vec	крайна стойност на итератора за брояч 'C' – броят на входните стойности на трансформацията, сумирани с началния адрес на техния масив
mmax_vec	крайна стойност на итератора за брояч 'B' – сума от стъпката между входовете на графа-пеперуда с началния адрес на вектора на входовете

Всички операции умножение и деление с операнд кратен на 2 са заменени с по-бързия им аналог – операция за побитово преместване наляво/надясно.

Особености при SSE-оптимизацията

За по-бързото зареждане на SSE-регистрите със стойности от паметта е необходимо тя да бъде подравнена на 16 байта (големината на SSE регистър). За целта статичните данни в MSVC++ се декларират префиксно с командата `_declspec(align(16))`. Динамичните данни се заделят подравнени чрез `"_aligned_malloc"`. Това позволява използването на по-бързата инструкция „movaps“ за зареждане на регистър с 4 пакетирани стойности с плаваща запетая от паметта, за сметка на по-бавния ѝ аналог „movups“, прилагащ се при неподравнени данни.

Ограничения при използване на предложеното решение

Понеже SIMD-регистрите не подлежат на запис в стека, то прекъсването на функцията от друга, използваща тези регистри е недопустимо. Това не позволява повторното

извикване на функцията преди нейното първоначално завършване (non-reentrant function).

Поради спецификата на асемблерния код и SSE-инструкциите представената функция е непреносима, нейното изпълнение е възможно само на x86 P3 съвместими архитектури.

Резултати от проведени изследвания

Използвана е тестовата платформа AMD Athlon 64 Dual Core 4200+. Работната честота е 2.21 GHz.

С цел сравнителна оценка на бързодействието на предложеното решение, задачата е реализирана и на VC++ под MSVS2008 без явното използване на вградените оператори за работа със SIMD-инструкциите (intrinsic).

Двата кода са компилирани при зададени параметри: максимална скорост /O2, боравене със SIMD-инструкции /Oi, оптимално бързодействие за сметка на размера на програмата /Ot и /arch:SSE2, използване на бърз модел на пресмятане на числа с плаваща запетая /fp:fast.

Резултатите от извършените изследвания на бързодействието при различни обеми на извадката са представени в таблица 3 и графично интерпретирани на фигура 6.

Анализът им показва, че във всички случаи предложената платформено-оптимизирана реализация на БФТ е с по-високо бързодействие в сравнение със стандартния подход за реализиране на това преобразуване. Съществено е, че тази тенденция е по-силно изразена при по-тежките задачи, боравещи с големи по обем извадки от изследвания процес.

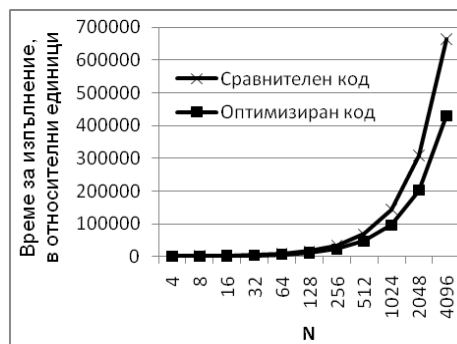
Заклучение

Предложена е софтуерна реализация на БФТ, при която чрез използване на особеностите на архитектурата на процесорите от фамилия Intel Pentium и с използване на SSE инструкции е постигнато повишаване на бързодействието с около 30% в сравнение с класическия подход за реализация на тази трансформация.

Препоръчана за публикуване от катедра
„Автоматизация на минното производство“, МЕМФ

Таблица 3.

Обем на извадката	Скорост на изпълнение на сравнителната програма (в процесорно време)	Скорост на изпълнение на изследваната програма (в процесорно време)	бързодействие, %
4	1043	863	17.2
8	1508	1219	19.2
16	2436	1786	26.6
32	4460	3188	28.5
64	8539	6115	28.4
128	16320	11712	28.2
256	32778	22702	30.7
512	68232	46754	31.5
1024	144331	96465	33.2
2048	308185	202734	34.2
4096	664560	430148	35.3



Фиг. 6. Съпоставка на времената за изпълнение на оптимизирания и сравнителния код

Литература

- <http://en.wikipedia.org/wiki/CORDIC>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Fast_Fourier_transform
- <http://www.relisoft.com/science/Physics/fft.html>
- Joyce David E., 1999, <http://www.clarku.edu/~djoyce/complex/mult.html>
- ssemath, <http://gruntthepeon.free.fr/ssemath/>
- Leiterman James, 2005, 32/64-bit 80x86 assembly language architecture, Wordware Publishing, Inc., p.343
- Sidney Burrus C., online book of Fast Fourier Transforms, 2010, <http://cnx.org/content/col10550/latest/>
- Volder Jack E., 1959, The CORDIC Trigonometric Computing Technique, IRE Transactions on Electronic Computers, pp.330-334,

ПАРАЛЕЛНА ОБРАБОТКА НА ИНФОРМАЦИЯТА ПРИ РЕАЛИЗАЦИЯ НА ПРИБЛИЖЕНИ МЕТОДИ ЗА НАМАЛЯВАНЕ ИЗТИЧАНЕТО НА ЧЕСТОТИ ПРИ СПЕКТРАЛНИЯ АНАЛИЗ

Ясен Видолов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, e-mail: nre@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Предложени са решения, позволяващи въвеждането на паралелизъм при реализация на три различни метода за интерполационно определяне на точна честота от спектър. Тяхното използване води до съществено намаляване на времето необходимо за реализация на изчислителните процедури. При методите на Джонсън и Куин се постига двукратно увеличение на бързодействието, а при тегловният метод, базиран на теоремата на Парсевал се постига инвариантност на времето за изпълнение спрямо броя на участващите амплитуди. Освен при пряката реализация на методите, разпаралелване е предложено и при откриването на честотата с максимална амплитуда от спектъра.

PARALLEL REPRESENTATION OF INTERPOLATION APPROACHES FOR FREQUENCY ESTIMATION

Yasen Vidolov

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

ABSTRACT. This paper proposes parallel operations over three interpolation methods for precise frequency estimation. Parallel computation of the Johnson and Quinn methods double computational speed. The weighted method based on Parseval's theorem achieve invariant execution time, independent from the participating amplitudes. Parallelism is proposed for the maximum amplitude finder algorithm as well.

Въведение

При спектралния анализ данните подлагани на обработка би следвало да са получени при интервал на дискретизация T_0 , който трябва да бъде така избран, че честотите на всички хармоници, съставлящи изследвания процес да бъдат кратни на $1/T_0$. В реални условия при планирането и провеждането на експерименталните изследвания честотите изграждащи изследвания процес не са предварително известни. Това не позволява подходящ избор на интервал на дискретизация, в резултат на което при реализация на Фурие трансформация се наблюдава явление, известно като "изтичане на честоти". То се изразява в разпределението на енергията на даден хармоник в област от близки честоти и формиране на камбана от честоти с амплитуда по-малка от тази на действително съществуващия хармоник. Изтичането на честоти е сериозен проблем с негативно отражение върху точността на спектралния анализ. Един от подходите за решаването му е използването на приближени методи за намиране на точна честота, каквито са методите на Грандки, Куин, Джонсън, както и тегловния метод за линейно усредняване чрез теоремата на Парсевал (Thomas Grandke, 1983; B. G. Quinn, 1994; Richard G. Lyons, 2004, V.K. Jain et al, 1979). Те могат се прилагат както при Дискретната Фурие Трансформация (ДФТ), така и при Бързата Фурие Трансформация (БФТ). По същество представляват коригиращи преобразования, целящи подобряване на качествените показатели на спектралния

анализ, а именно определяне на честотите на минималния брой хармонични съставни в сигнала, като някои от методите позволяват и оценка на съответните им амплитуди.

Използването на приближени методи за честотна оценка е свързано с реализиране на относително тежки изчислителни процедури ангажиращи значителен времеви ресурс. Това налага търсене на подходи за повишаване на бързодействието, като един от тях е паралелната обработка на информацията.

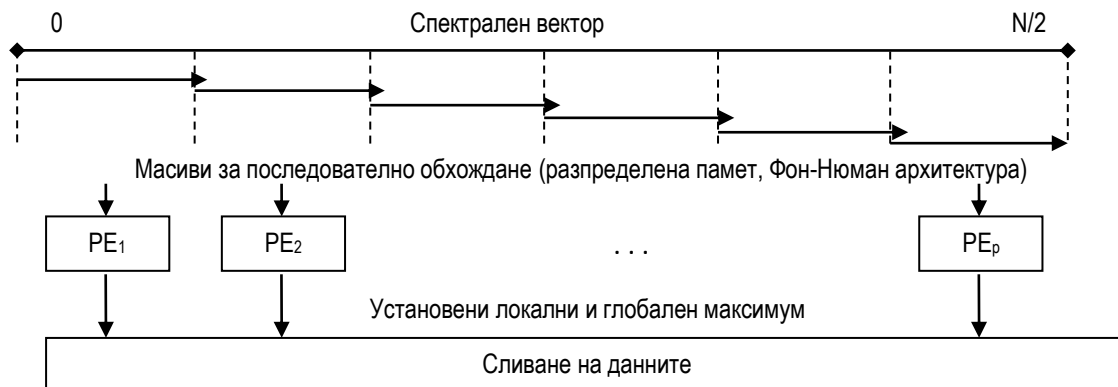
Ускорено определяне на максималната амплитуда от спектъра

Намирането на всички екстремуми на амплитудата, получена в резултат на Фурие трансформацията (ФТ) е първия етап от приложението на всеки един от приближените методи за честотна оценка. Класически той може да се реализира чрез последователно обхождане и сравнение на всички елементи на масива, формиран при ФТ. В този случай е със сложност по време $O(N/2)$, където N е броя на положителните честоти в изследвания спектър и често ангажира по-голямата част от времето за изпълнението на всеки един от приближените алгоритми. Повишаване на бързодействието на този етап може да се постигне чрез разпаралелване на функцията за намиране на екстремумите, като P на брой изчислителни единици (РЕ) разделят спектралния вектор на равни части и всяка

обработи вектор с дължина от $N/2P$ елемента. Необходима е и схема за синхронизация на записа на откритите екстремуми в общата памет. При използване на локална памет, принадлежаща на калкулиращите единици, синхронизация не е необходима. Вместо нея е нужен механизъм за последователното сливане на информацията. Тогава търсенето ще се изпълнява за време, кратно на $(N/2P + \xi)$, където ξ е загуба на време поради синхронизация механизъм. Необходимо е да се предвиди застъпване на обработваните вектори с по един елемент поради специфика на алгоритъма за

установяване на максимум, намиращ се на границата между два изследвани вектора. Сливането има за цел да определи коя от стойностите намерени от PE е максималната за целия изследван спектър, и е възможно то да бъде реализирано чрез една от наличните изчислителни единици, при условие, че техния брой не надвишава дължината на вектора ($P \leq N/2P$).

На фиг. 1 са представени застъпващите се спектрални сегменти, които се подават за обработка на изчислителните единици.



Фиг. 1. Сегментирано търсене на максимална стойност

Повишаване на бързодействието при реализация на приближените методи за честотна оценка

Тегловния метод, базиращ се на теоремата на Парсевал

При изтичане на честоти мощността на реално съществуващия хармоник е разпръсната и разпределена в камбаната от хармоници.

Съгласно теоремата на Парсевал, сумата от мощностите на хармониците, образуващи "камбаната" е равна на мощността на реалната честота. В непрекъснат и дискретен вид тази теорема може да се изрази чрез зависимостите

$$\int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi(\omega) d\omega \quad (1)$$

$$\sum_{i=0}^{n-1} |x_i|^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{K-1} |X_k|^2 \quad (2)$$

където:

$f(t)$ и x_i са съответно непрекъснатия и дискретизиран сигнал, подложен на Фурие трансформация;
 $\Phi(\omega)$ и X_k са магнитудите в непрекъснат и дискретен вид на получения след Фурие трансформация спектър;
 n е обема на извадката на дискретизирания сигнал;
 K е броя оценявани честоти от спектъра.

Квадратът на всяка оценявана амплитуда (съответно спектралната ѝ мощност) се равнява на сумата от квадратите на амплитудите на съседните хармоници. Това означава, че реалната амплитуда може да бъде определена с достатъчна точност чрез използване на зависимостта:

$$A_f = \sqrt{\sum_{i=p-j}^{p+j} A_i^2} \quad (3)$$

където 'p' е индекса на хармоника с максимална амплитуда, а 'j' е броя съседни хармоници, които желаем да прибавим. С увеличаване на стойността на 'j' нараства точността на прилаганата оценка, но същевременно намалява възможността за оценяване на близки честоти, за това подбирането ѝ зависи от параметрите на всеки конкретен случай. Сложността по време на зависимост (3) е $O(N)$, където N е броя на сумираните амплитуди ($N=2j+1$).

Аналогично можем да подходим и при намиране на оценка на реалната честота, използвайки зависимостта:

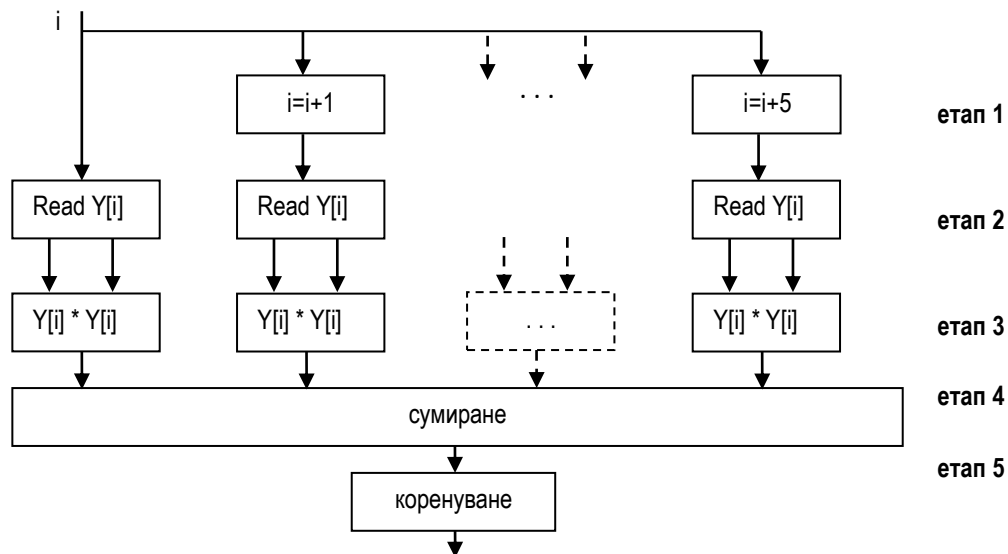
$$f' = \frac{\sum_{i=p-j}^{p+j} (i \cdot P_i \cdot \Delta F)}{\sum_{i=p-j}^{p+j} P_i} \quad (4)$$

Тегловният метод, базиращ се на теоремата на Парсевал може да бъде прилаган при анализ на сигнали с няколко хармонични съставни, само когато няма припокриване на камбаните им. Неизпълнението на това изискване ще доведе до недетерминираност на амплитудата, повлияна от всеки хармоник поотделно.

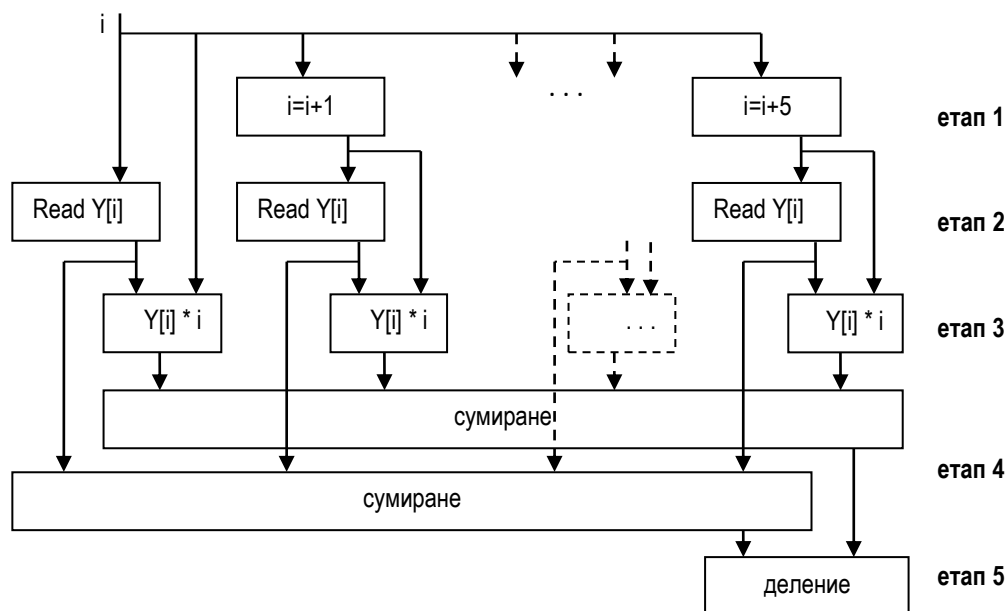
Зависимости (3) и (4) подлежат на разпаралелване, като сложността им по време достига $O(1)$. Всеки паралелен клон обработва по една амплитуда, като броят на клоновете е равен на общия брой амплитуди (фиг. 2 и 3). На първия етап се определят индексите на елементите в паметта на изчислителното устройство. То трябва да поддържа възможност за едновременно им прочитане на втория етап от разпаралелването. Това може да бъде

постигнато чрез успоредното свързване на N на брой P -битови памети, образувайки единична памет с (NP) -битова ширина за данни. На третия етап се извършва повдигане на втора степен на съответната амплитуда, с цел превръщането ѝ в мощност. Четвъртият етап се изразява в

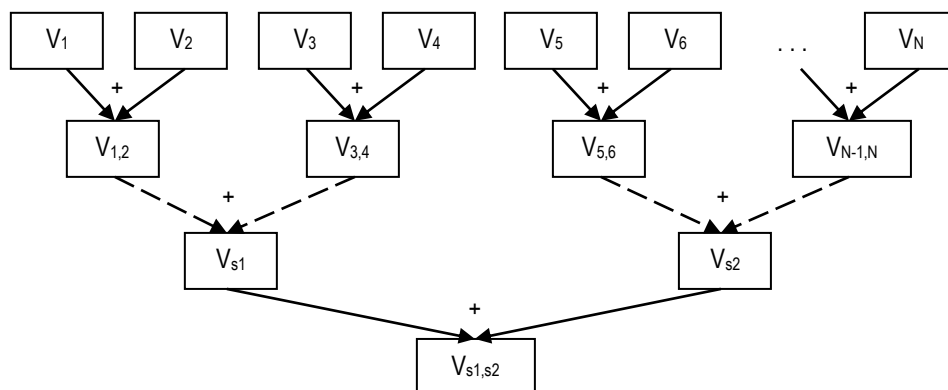
едновременното сумиране на всички пресметнати мощности. То от своя страна може да бъде разпаралелено чрез $N/2$ броя суматори с време за изчисление $O(\log_2 N)$, както е показано на фиг. 4. На всеки етап разрядността на суматорите е с 1 бит по-голяма от тази на предходния.



Фиг. 2. Разпаралелване на операциите за пресмятане на реалната амплитуда при $j = 2$



Фиг. 3. Разпаралелване на операциите за пресмятане на реалната честота при $j = 2$



Фиг. 4. Паралелно сумиране на N -променливи

Метод на Куин

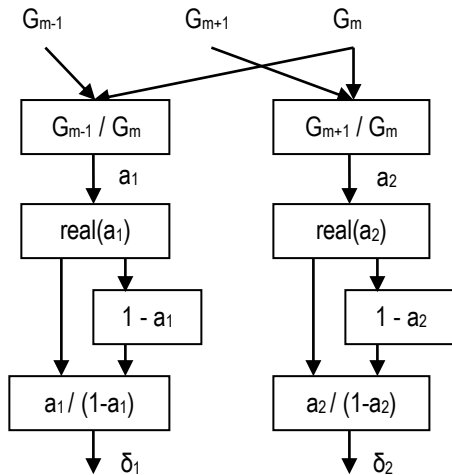
Методът на Куин използва хармоника с максимална амплитуда G_m , както и двата му съседни G_{m-1} и G_{m+1} като входни данни в интерполационните зависимости:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \text{real}\left(\frac{G_{m-1}}{G_m}\right) & \delta_1 &= \frac{\alpha_1}{1-\alpha_1} \\ \alpha_2 &= \text{real}\left(\frac{G_{m+1}}{G_m}\right) & \delta_2 &= \frac{-\alpha_2}{1-\alpha_2} \end{aligned} \quad (5)$$

Стойността на честотното отклонение δ се определя от:

$$\delta = \begin{cases} \delta_2, & \text{ако } \delta_1 > 0 \text{ и } \delta_2 > 0 \\ \delta_1, & \text{в останалите случаи} \end{cases} \quad (6)$$

Метода на Куин подлежи на разпаралелване, като се постига увеличаване на бързодействието на изчисленията с фактор 2. Блок-схема на паралелната обработка е изобразена на фиг. 5.



Фиг. 5. Метод на Куин реализиран чрез 2 паралелни клона

Квадратична интерполационна зависимост на Джонсън

Индексно-базираният център може да се пресметне чрез зависимостта

$$m_{peak} = m_k - \text{real}(\delta) \quad (7)$$

Където: $\text{real}(\delta)$ е реалната част на честотното отклонение δ , определящо се чрез израза:

$$\delta = \frac{X(m_{k+1}) - X(m_{k-1})}{2X(m_k) - X(m_{k+1}) - X(m_{k-1})} \quad (8)$$

m_k е целочислен индекс на максималния магнитуд $|X(m_k)|$; $X(m_{k-1})$ и $X(m_{k+1})$ са комплексни хармоници от двете страни в съседство на максималния.

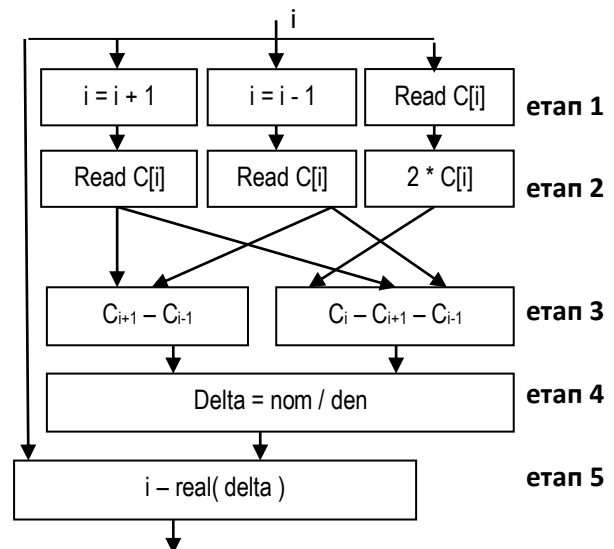
На базата на комплексно базираните стойности X_m , X_{m-1} и X_{m+1} се определя индексно-базираният честота m_{peak} , която

може да не бъде целочислена. Преобразуването в честотна оценка се извършва по зависимостта:

$$f_{peak} = m_{peak} \frac{Fs}{n} \quad (9)$$

Структурата, позволяваща изчисляването на зависимост (9) с използване на паралелна обработка е представена на фиг. 6. 'C' представляват комплексни величини. Ако реалната и имагинерна част се запишат в две съседни клетки от паметта, извличането на реалната част на комплексната величина δ става чрез използването само на едната променлива и не изисква допълнителни операции. На етапи 1 и 2 се определят стойностите m_{k-1} , m_k и m_{k+1} , участващи в интерполационната зависимост. На етап 3 се пресмятат числителя и знаменателя за оценка на честотното отклонение δ .

Увеличеното бързодействие зависи от метода на реализация на операцията деление, ангажираща относително голямо време спрямо останалите операции. Лесно може да се забележи, че при използване на квадратичната интерполационна зависимост, предложена от Джонсън, се ангажира минимален времеви ресурс, тъй като реализирането ѝ се осъществява чрез бързи операции умножение, сумиране и единствена операция делене.



Фиг. 6. Паралелно изпълнение на метода на Джонсън

Заклучение

Разгледани са приближени методи за установяване на точна честота. Всички те изискват предварителното намиране на максималната амплитуда от изследвания спектър. Това ангажира по-голямата част от времето за изпълнение на всеки един интерполационен подход.

Приложен е алгоритъм за паралелно установяване на максимума, който предлага многократно увеличаване на бързодействието пропорционално на броя паралелни изчислителни единици спрямо векторното поелементно обхождане и сравнение. Той има времева сложност $O(N/2P)$, като с увеличаване на броя (P) на изчислителните единици PE се увеличава бързодействието на

паралелната обработка, като максимално бързодействие $O(\log_2 N/2)$ се постига при $P = N/4$, където всяка РЕ сравнява по 2 амплитуди от изследвания спектър.

При разпаралелване на методите на Джонсън и Куин се постига двукратно повишено бързодействие, докато при метода, базиран на теоремата на Парсевал се постига сложност $O(1)$, изразяваща се във време за изпълнение, независимо от броя пресмятани амплитуди, и по този начин при увеличаване на точността на метода се запазва бързия изчислителен подход. Ефектът от представените решения се повишава с увеличаване броя на търсените точни честоти.

Литература

Grandke Thomas, "Interpolation Algorithms for Discrete Fourier Transforms of Weighted Signals," IEEE Trans. Instrumentation and Measurement, Vol. IM-32, pp 350-355, June 1983.

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

<http://mathworld.wolfram.com/ParsevalsTheorem.html>

http://en.wikipedia.org/wiki/Spectral_density

<http://en.wikipedia.org/wiki/Bin-centres>

Jain V.K. et al, "High-Accuracy Analog Measurements via Interpolated FFT," IEEE Trans. Instrumentation and Measurement, Vol. IM-28, pp 113-122, June 1979.

Lyons Richard G., "Understanding Digital Signal Processing", Second Edition, ISBN 0-13-108989-7, Pearson Education, Inc., 2004, pp.523-525

Quinn B. G., "Estimating Frequency by Interpolation Using Fourier Coefficients," IEEE Trans. Signal Processing, Vol. 42, pp. 1264-1268, May 1994.

Quinn B. G. and Kootsookos P. J., "Threshold Behaviour of the Maximum Likelihood Estimator of Frequency", IEEE Trans. Signal Processing, Vol. 42, pp 3291-3294, November 1994.

Rife D. C. and Boorstyn R. R., "Single-Tone Parameter Estimation from Discrete-Time Observations", IEEE Trans. Information Theory, Vol. IT-20, pp 591-598, September 1974.

СИМУЛАЦИОНЕН МОДЕЛ НА БЕЗЖИЧНА МРЕЖА ЗА ЛОКАЛИЗИРАНЕ НА АВАРИИ В МИННИ ПРЕДПРИЯТИЯ ИЗПОЛЗВАЩ ПРОГРАМНИЯ ПРОДУКТ „MATLAB”

Станислав Димов

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски”, 1700 София

РЕЗЮМЕ. В настоящата статия е описан симулационен модел на топологията на безжична мрежа за локализиране на аварии програмиран в среда "Matlab". Моделът е базиран на съществуващи безжични сензорни мрежи използвани в минни предприятия в САЩ, Австралия и други страни с цел ранно откриване на персонал и/или минни машини затрупани в подземни мини или наличие на аварии в открити рудници. В статията е направен сравнителен анализ по отношение на качеството на предлаганите безжични услуги (*Quality of service*) в мрежата като обхват на детектиране, заглъхване на сигнала, широчина на честотната лента при различните видове топологии използвани в съществуващите безжични мрежи. Разгледани са възможности за оптимизация на параметрите на мрежата при различните използвани топологии (решетка, звезда, пръстен).

SIMULATION MODEL OF WIRELESS NETWORK FOR DISASTER DETECTION IN MINING ORES BASED ON PROGRAM PACKAGE "MATLAB"

Stanislav Dimov

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

ABSTRACT. In the following article is described a simulation model of the topology of wireless network for disaster detection in mining ores. The model is implemented in programming language of "Matlab". The simulation model is based on the existing wireless sensor networks (WSN) implemented in USA, Australia and other countries. The purpose of the model is early detection of disasters in the open or underground mining ores. In the article is given a comparative analysis regarding on a quality of service (QS) of WSN as response time by disaster events, bandwidth of the net, signal attenuation by different wireless net topologies. In the article are described the possibilities of wireless net optimization by different net topologies.

ВЪВЕДЕНИЕ

1. Видове използвани безжични мрежи в минните предприятия. Предимства и недостатъци. Примери за WSN.

- безжични мрежи за откриване на обекти в подземни рудници и сигнализиране при аварии в подземни и открити рудници посредством точки за достъп (*access points*) към външна жична мрежа;
- безжични мрежи за откриване на обекти в подземни рудници и сигнализиране при аварии в подземни и открити рудници посредством сателитна или GSM връзка към външна жична мрежа и GPS сенсори

2. Качество на предлаганите услуги (*Quality of service*) на WSN.

Основните недостатъци на използваните безжични мрежи в минните предприятия са:

- Високата цена на използваното оборудване като GPS –станции за локализиране на обектите, безжичните сенсори /предаватели, базови станции, сателитна връзка и др.;
- Наличие на смущения или недостатъчен обхват на безжичните сенсори /предаватели в подземните рудници причинени от заглъхване на

сигнала при преминаване през пластовете от възлища или руда

Тези недостатъци могат до голяма степен да бъдат отстранени посредством следните конструктивни мерки:

- Изграждане на виртуални мрежи от безжични сенсори и портативни компютри (лаптопи, таблети, PDA) от тип "ad-hoc";
- Оптимизация на изградени съществуващи безжични мрежи /от тип инфраструктурни мрежи/ посредством подходящо позициониране на отделните сенсори и точките за достъп, определяне енергийната ефективност на мрежата и др.

3. Оптимизация на параметрите на WSN.

Параметрите на безжичните мрежи могат да бъдат оптимизирани посредством програмни продукти *Matlab, TinyOS, Mathematica* [2], [3], [4].

За оптимизация на параметрите на различни структури и схеми най-често се използва пакета *Matlab* и неговия модул "*Optimization toolbox*". Могат да се използват следните процедури от него [5]:

- линейна оптимизация посредством метода на най-малките квадрати (**Constrained linear least squares**);
- нелинейна минимизация без ограничителни условия (**Unconstrained nonlinear minimization**);

- нелинейна минимизация с ограничителни условия (**Constrained nonlinear minimization**);
- квадратично и линеено програмиране (**Quadratic and linear programming**);
- нелинейна оптимизация посредством метода на най-малките квадрати и изглаждане на криви (**Nonlinear least squares and curve-fitting**);
- система от нелинейни уравнения (**Nonlinear system of equation solving**);
- структурирани проблеми с голям обем данни (**structured large-scale problems**).

От описаните по-горе процедури подходящи за оптимизация на безжични мрежи са нелинейните и линейни методи при зададени ограничителни условия. При линейна оптимизация те могат да се формулират във вида:

$$x = \text{lsqlin}(C, d, A, b, Aeq, beq) \quad (1);$$

където C, d са матрицата и векторът описващ целевата функция, A, b представляват ограничителните условия зададени посредством неравенства, Aeq, beq представляват ограничителните условия зададени посредством уравнения.

При нелинейна квадратична оптимизация целевата функция има вида:

$$x = \text{lsqnonlin}(C, d, A, b, Aeq, beq) \quad (2);$$

Целевите функции при оптимизация на конкретна безжична мрежа могат да се формулират като:

- Оптимизация по брой използвани възли в мрежата (цена на мрежата) - (метод на Voronoi) за определяне на минималния брой възли за покриване на определен район (мина);
- Оптимизация по енергийна ефективност на мрежата: необходим брой хранящи батерии за сензорите и другите устройства на мрежата;
- надеждност на комуникацията между възлите в мрежата;
- време на реакцията в мрежата при наличие на авария;
- точност на позиционирането на отделните обекти (работници, самосвали, минни машини) посредством използваните сенсори (GPS) и безжичната мрежа.

Ограничителните условия трябва да се дефинират за всяка отделна безжична мрежа според зададената целева функция. Например при целева функция «минимален брой възли за покриване на определен район» ограничителните условия са:

- площ на района (S);
- обхвата на отделните сенсори или точки за достъп използвани в мрежата в метри;

При целева функция «енергийна ефективност на мрежата» ограничителното условия трябва да бъде максимално допустимия капацитет на хранящите батерии в мрежата в амперчаса.

Началните условия на неизвестната величина x се определят от физически съображения съобразно зададената целева функция - например при целева функция «брой използвани възли в мрежата» x представлява първоначалния брой възли в безжичната мрежа.

Примерна програма на езика на Matlab за определяне на оптималното местоположение между 50 възела на безжичната мрежа от тип «ad hoc» при ограничително условие «разстоянието между всеки два възела да по-малко от радиуса на комуникация на възлите» е показана на фиг.1:

```
clear;
noOfNodes = 50;
rand('state', 0);
figure(1);
clf;
hold on;
L = 1000;
R = 200; % maximum range;
netXloc = rand(1,noOfNodes)*L;
netYloc = rand(1,noOfNodes)*L;
for i = 1:noOfNodes
plot(netXloc(i), netYloc(i), '.');
text(netXloc(i), netYloc(i), num2str(i));
for j = 1:noOfNodes
distance = sqrt((netXloc(i) - netXloc(j))^2 + (netYloc(i) -
netYloc(j))^2);
if distance <= R
matrix(i, j) = 1; % there is a link;
line([netXloc(i) netXloc(j)], [netYloc(i) netYloc(j)],
'LineStyle', ':');
else
matrix(i, j) = inf;
end; end; end;
Фиг.1
```

4. Проблеми при изграждане на безжични мрежи.
 - Отслабване силата на предавания сигнал (*attenuation*) вследствие на разсейване на електромагнитните вълни, различни препятствия между предавателя и приемника, климатични фактори и др.
 - Интерференция между предавания сигнал от предавателя и други предавани сигнали в близост на предавателя – използван термин в английската литература (*unwanted radiation*);
 - Отразяване на сигнала от различни обекти като планини, скали и др. (*Bouncing*);
5. Изводи и изследвания в бъдеще.
 - Определяне степента на „заглъхване“ на сигналите в подземните рудници при преминаване през различни видове скали или въглищни пластове;
 - Определяне на оптималното разположение (конфигурация) на точките за достъп (*access point*) в подземните и/или открити рудници с цел осъществяване на максимално покритие на рудника;
 - Определяне на типа на връзка към базовата станция (операторския пулт)-връзка посредством

GSM или сателитна връзка при големи разстояния

- Определяне на наличието на препятствия пред RF сигнала като стоманени или железни конструкции, скали и др. които отслабват високочестотния сигнал
- Определяне на подходящата антена на предавателите в мрежата с максимален диапазон
- Определяне на подходящ честотен лентен скорост (bit rate) с цел оптимална скорост на предаване и максимално покритие

*Препоръчана за публикуване от
катедра „Информатика“, МЕМФ*

Литература

- Optimization toolbox for Matlab ver.7.8.0 (R2009a), User guide, 2009
- G.Korn, T.Korn, Mathematical Handbook for scientists and engineers, Second edition, McGraw Hill Company, New York, 1980
- Cisco Network Academy, Fundamentals of Wireless LAN systems, 2008

THE DYNAMICS OF VESSELS OF VERTICAL TRANSPORT OF UNDERGROUND MINES

Hynek Přechek¹, Radek Kotík², Monika Řepková²

^{1,2,3}VŠB – Technical University of Ostrava, CZECH REPUBLIC

ABSTRACT. For vertical transport in underground mines in The Czech Republic there are stiff mining regulations. These regulations, inter alia, determine limiting margins of safe operation in term of dynamics of a transport vessel subsystem – the pit equipment.

ДИНАМИКА НА СЪДОВЕТЕ ПРИ ВЕРТИКАЛЕН ТРАНСПОРТ В ПОДЗЕМНИТЕ РУДНИЦИ

Хайнек Пречек¹, Радек Котик², Моника Репкова³

^{1,2,3} Технически университет-Острава, Чехия

РЕЗЮМЕ. Съществуват твърди законови правила по отношение на вертикалния транспорт в подземните рудници в Република Чехия. Тези правила определят ограничения, гарантиращи безопасната работа на транспортната подсистема, съставена от оборудване в рудниците.

1. Introduction

Former mining regulation about ride on the rope NOJ No 5001/1945 set only recommendation for vertical transport. It was necessary to respect the recommendation at operation of a winding cage while people were transported and at raw material and mineral transportation (mining). In dependence on comments from operators and supervisor of state mining executive the NOJ was supplemented. Later on, the mining regulation 1/1949 set down rules for transport and mining in consideration of implementation of skips and containers.

2. Parameters of the 4K4016

A sharp expansion of this transport equipment began after transfer of production from ŠKODA Plzeň to ČKD PRAHA in 1965. Formerly used winding engines with asynchronous drive (to 1MW) were replaced by DC drive with a control unit WardLeo (outputs to 2x1.75MW). A development of DC drive with thyristors (to 2x3.85 MW) followed.

2.1 The development of transport vessels and equipment

- a) winding cages - 4 decks (72 person)
 - 6 wagons of coal by 1500 kg
 - 4 wagons of aggregate by 2000 kg
 - driving speed 10 ms⁻¹
 - winding speed 16 ms⁻¹
- b) skips
 - payload 16-20 t
 - winding speed 16 – 18 ms⁻¹

3. OKD Directive No 40 + CBU (Czech Mining Office Board) Decree in Prague No 12/1982

These regulations in Article 58 determine conditions for dynamics of vessels at fixed line for speed $v \geq 10 \text{ ms}^{-1}$. Measurement of horizontal acceleration at x axis (abreast to a guide) and at y axis (abeam to a guide) is ordered as optimal and fastest. Values of results are mentioned in table 1.

4. Subsequent development

The innovation of transport vessels is under way. It includes winding cages, containers and skips and thereby dead weights are decreasing at expense of a payload. Concretely skips carry the payload from 28 to 35t by speed between 14-16 ms⁻¹. New mining regulation - see No 415/2003Sb.

Conclusion: In Czech deep mines there are carried out comprehensive audits of mining equipment every 2 years. The protocol about dynamics of subsystem is one of the essential documents. For information, there is mined from depth between 960m to 1121m at OKD, a.s. and in uranium mines from depth 1200m.

References

- 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 drôtov ocelových lán. In XXV. NAUKOVO-DYDAKTICZNE FORUM EUROPEJSKICH KATEDER MASZYN

GÓRNICZYCH I LOGISTYKI, Gliwicz-Ustroń 23.-
24.października 2003

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*.

Recommended for publication of Editorial board