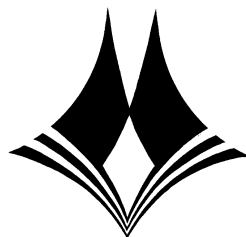


ГОДИШНИК
НА
МИННО-ГЕОЛОЖКИЯ УНИВЕРСИТЕТ
“СВ. ИВАН РИЛСКИ” - СОФИЯ
Том 51

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

ANNUAL
OF
UNIVERSITY OF MINING AND GEOLOGY
“ST. IVAN RILSKI” – SOFIA
Volume 51

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



Издателска къща “Св. Иван Рилски”
Publishing House “St. Ivan Rilski”
София, 2008
Sofia, 2008

ISSN 1312-1820

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

доц. д-р Венцислав Иванов – главен редактор
доц. д-р Страшимир Страшимиров – зам. главен редактор
доц. д-р Вяра Пожидаева – председател на редакционен съвет
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
Цветан Петров - 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

Корина-Ана Боркоз Мирабела-Лавиния Боркоз	СЪВМЕСТНО СЪЩЕСТВУВАНЕ НА РАЗЛИЧНИ ВИДОВЕ ДЕЙНОСТИ В МСП	7
Корина-Ана Боркоз Мирабела-Лавиния Боркоз	ПЛАН ЗА ДЕЙСТВИЕ – ВАЖНО СРЕДСТВО ЗА УПРАВЛЕНИЕ	11
Илия Боркоз Алина Динча Даниела Небуну Антони Николае	ВЕКТОРЕН КОНТРОЛ ПРИ ИНДУКЦИОННИТЕ МАШИНИ	13
Константин Кристинел Вилан Небуну Даниела Керкел Константин	АЛГОРИТЪМ ЗА УПРАВЛЕНИЕ БУТАЛОТО НА ЕЛЕКТРОХИДРАВЛИЧНА СИСТЕМА	17
Илия Боркоз Алина Динча Даниела Небуну Антон Николае	ЦИФРОВИ СИТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ С ВИСОКА ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТ ЗА ЕЛЕКТРОМОТОРИ С ПРОМЕНЛИВ ТОК	23
И. Н. Миков М. Г. Шеметов А. Г. Рыбин И. Л. Мезенцева Н. Н. Стефанова	ЦИФРОВО МОДЕЛИРАНЕ НА СОБСТВЕНИТЕ КОЛЕБАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКАТА НА МЕТАЛИ И СКАЛНИ МАТЕРИАЛИ ЧРЕЗ ФРЕЗОВАНЕ	27
И.Н. Миков М.П. Козочкин Н.Н. Стефанова И.Л. Мезенцева	ВЛИЯНИЕ НА ЕЛАСТИЧНАТА СИСТЕМА НА МАШИНАТА И ИЗНОСВАНЕТО НА ИНСТРУМЕНТА ВЪРХУ ОТКЛОНЕНИЯТА ОТ ФОРМА НА ПОВЪРХНОСТТА ПРИ КОНТУРНА ОБРАБОТКА НА СКАЛНИ МАТЕРИАЛИ	33
Цветан Дамянов Лъчезар Лазов Петко Недялков	МАТЕМАТИЧЕН МОДЕЛ И МОДАЛЕН АНАЛИЗ НА ДВУБАРАБАННА ЗАДВИЖВАЩА СИСТЕМА ЗА ЛЕНТОВИ ТРАНСПОРТЪОРИ	39
Цветан Дамянов Евгени Костадинов	ТЕОРЕТИКО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЕН СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА ФУНКЦИОНАЛНАТА ЗАВИСИМОСТ МЕЖДУ ПАРАМЕТРИТЕ НА ЗАТИХВАЩИТЕ ТРЕПТЕНИЯ В МЕХАНИЧНИ СИСТЕМИ	43
Христо Шейретов	ОТНОШЕНИЕ НА МОЩНОСТИТЕ НА ДВИГАТЕЛИТЕ НА ОСНОВНИЯ И СПОМАГАТЕЛНИЯ ТРАНСПОРТЪОР ПРИ ТРАНСПОРТЪОРИ С ГОРНА ПРИТИСКАЩА ЛЕНТА	47
Христо Шейретов	СРАВНЯВАНЕ НА МЕТОДИКИТЕ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА МОЩНОСТА НА ДВИГАТЕЛЯ НА ЛЕНТОВИ ТРАНСПОРТЪОРИ	51
Илия Йочев	ЕФЕКТИВЕН МЕТОД ЗА УВЕЛИЧАВАНЕ НА ВИСОЧИНАТА НА ПОДЕМ НА БАРАБАНИ РУДНИЧНИ ПОДЕМНИ УРЕДБИ	57
Илия Йочев	ИЗПОЛЗВАНЕ НА ЦЕНТРОБЕЖНИ ПОМПИ КАТО ТУРБИНИ В МИННИТЕ ПРЕДПРИЯТИЯ	63
Борис Борисов Стефан Ангелов Николай Петков	ОПТИМИЗАЦИЯ НА ПРОЦЕСА РЯЗАНЕ НА СКАЛНИ МАТЕРИАЛИ С ДИАМАНТЕНИ ДИСКОВЕ	69
Борис Борисов Николай Петков Стефан Ангелов	СЪПРОТИВИТЕЛНИ СИЛИ И МОМЕНТИ ПРИ РЯЗАНЕ НА СКАЛНИ МАТЕРИАЛИ С ДИАМАНТЕНА ВЪЖЕ	75
Петко Недялков Драгомир Вражилски Димитър Ралев	ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЧЕСТОТЕН ДИАПАЗОН ПРИ РАБОТА НА ЛАГЕРЕН ВЪЗЕЛ С ТЪРКАЛЯЩИ ЛАГЕРИ	79
Драгомир Вражилски	ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА СОБСТВЕНИ ЧЕСТОТИ И ДЕМПИРАНЕ НА ВИБРАЦИОНЕН СЕПАРАТОР	83

Константин Тричков Владко Панов	КОНФИГУРАЦИЯ НА МАГНИТНОТО ПОЛЕ НА ВИХРОВАТА МАШИНА ПРИ ОТСЪСТВИЕ НА ВТОРИЧНА СРЕДА	87
Константин Тричков Константин Костов	ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ЯКОСТ И ДИЕЛЕКТРИЧНИТЕ ЗАГУБИ НА ГЛАВНА ИЗОЛАЦИЯ ОТ CONDUCTOFOL 2159	91
Константин Тричков Константин Костов	ВЪЗБУДИТЕЛИ НА БЯГАЩО МАГНИТНО ПОЛЕ ЗА ВИХРОВИ МАШИНИ	95
Константин Тричков Ромео Александров Андрей Козаров	ДИНАМИЧНИ ПРОЦЕСИ ВЪВ ВЕНТИЛАЦИОННИ ВЕРИГИ ПРИ МАЛКИ СМУЩЕНИЯ	99
Андрей Козаров Юлиан Заимов	ДИСТАНЦИОННО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ЕНЕРГИЯТА НА ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИТЕ ЗАРЯДИ	103
Андрей Козаров Снежана Стоянова	НЯКОИ ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА АНАЛИТИЧНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТРИМЕРНИ ПОТЕНЦИАЛНИ ПОЛЕТА	107
Евтим Кърцелин	ОПРЕДЕЛЯНЕ РАЗПРЕДЕЛЕНИЕТО НА ПОТЕНЦИАЛА ВЪРХУ ИЗОЛАТОРНИ ВЕРИГИ	111
Тодор Върбев	ВЪЗМОЖНОСТ ЗА ИЗПОЛЗВАНЕ НА ТРАНСФОРМАТОР С МАГНИТЕН ШУНТ КАТО МАКСИМАЛНО ТОКОВА ЗАЩИТА	117
Румен Исталиянов	СРАВНИТЕЛНА ОЦЕНКА НА ВЪЗМОЖНИ РЕШЕНИЯ ЗА НАМАЛЯВАНЕ НА РАЗХОДИТЕ ЗА ВОДООТЛИВ НА ПОДЗЕМЕН РУДНИК	121
Снежана Стоянова	ДАТЧИК ЗА ЛИНЕЙНО ПРЕМЕСТВАНЕ	129
Стефан Чобанов	ЕФЕКТИВНОСТ НА ЗАЩИТИТЕ ОТ УТЕЧКА ПО ТОКА С НУЛЕВА ПОСЛЕДОВАТЕЛНОСТ В СИСТЕМИТЕ С ИЗОЛИРАНА НЕУТРАЛА	133
Стефан Чобанов Иван Иванов	ШТЕПСЕЛЕННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ДЛЯ ГОРНОРУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	137
Стефан Чобанов Менто Ментешев	ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ НА ПЕТПРОВОДИННИТЕ СИСТЕМИ С ИЗОЛИРАНА НЕУТРАЛА (IT) В МИНИТЕ	141
Георги Георгиев Владимир Христов Румен Райнов	ЕНЕРГЕТИКА НА АСИНХРОННИ РЕГУЛИРУЕМИ ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯ – МОДЕЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ В MATLAB/SIMULINK СРЕДА	147
Милен Дренков	ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СЪПРОТИВЛЕНИЕТО НА ЕСТЕСТВЕННОТО ЗАЗЕМЯВАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ СОНДИ В Р. "ЕЛАЦИТЕ"	151
Диана Дечева Здравко Илиев Иван Стоилов	АРХИТЕКТУРА НА СИСТЕМА ЗА МОНИТОРИНГ НА ЕЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕТО НА „СТОМАНА ИНДЪСТРИ“ АД	153
Симеон Гагов Теодора Христова	ВЪРХУ ЕДНА ПРЕДАВАТЕЛНА ФУНКЦИЯ НАБЛЮДЕНИЕ НА КОРОЗИОННОТО СЪСТОЯНИЕ НА ПОДЗЕМНИ ТРЪБОПРОВОДИ С ПОМОЩТА НА СЕНЗОРНИ УСТРОЙСТВА	157 161
Георги Радулов Димитър Тодоров	ВАЖНИ КРЪГЛИ ГОДИШНИНИ В РАЗВИТИЕТО НА АВТОМАТИКАТА	167
Стефан Димитров Веселин Колев Веселка Спасова	СИСТЕМА ЗА АВТОМАТИЗИРАНО РАЗПОЗНАВАНЕ И ОПОВЕСТЯВАНЕ НА НЕДОБРОНАМЕРЕНИ И НЕКОРЕКТНИ ДЕЙСТВИЯ В КОМПЮТЪРНА МРЕЖА	171
Кристинел Попеску Василе Козма	РАБОТА БЕЗ НАТОВАРВАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ ТРАНСФОРМАТОРИ	175
Кристинел Попеску Василе Козма	ВЪГЛИЩАТА – ОСНОВНАТА ЕНЕРГИЙНА СУРОВИНА НА НАЦИОНАЛНО И СВЕТОВНО НИВО	179
Василе Козма Кристинел Попеску	ПАРАЛЕЛНА РАБОТА НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ	183

CONTENTS

Corina-Ana Borcosi Mirabela-Lavinia Borcos	THE COEXISTENCE OF THE FORMS OF HETEROGENEOUS ACTIVITY IN IMM	7
Corina-Ana Borcosi Mirabela-Lavinia Borcos	THE AFFAIR PLAN – IMPORTANT APPLIANCE MANAGERIAL	11
Ilie Borcosi Alina Dincă Daniela Nebunu Antonie Nicolae	VECTOR CONTROL OF INDUCTION MACHINES	13
Constantin Cristinel Vilan Nebunu Daniela Cercel Constantin	FUZZY ALGORITHM FOR THE COMMAND OF THE POSITION FOR THE PISTON OF AN ELECTRO-HYDRAULIC SYSTEM	17
Ilie Borcosi Alina Dincă Daniela Nebunu Antonie Nicolae	HIGH PERFORMANCE DIGITAL CONTROL SYSTEM OF AC MACHINES	23
Mikov I. N. Shemetov M. G. Rybin A. G. Mezentzeva I. L. Stefanova N. N.	NUMERIC SIMULATION OF THE AUTOOSCILATIONS AT THE PROCESSING OF METALS AND ROCK MATERIALS BY MILLING	27
Mikov I. N. Kozochkin M. P. Stefanova N. N. Mezentzeva I. L.	INFLUENCE OF THE MACHINE ELASTIC SYSTEM AND THE TOOL WEAR OVER THE DEVIATION AT CONTOUR PROCESSING OF STONES	33
Tsvetan Damyanov Lachezar Lazov Petko Nedyalkov	MATHEMATICAL MODELING AND MODAL ANALYSIS OF THE TWO DRUM DRIVER SYSTEM FOR BELT CONVEYORS	39
Tsvetan Damyanov Evgeni Kostadinov	THEORETICAL, EXPERIMENTAL AND COMPARATIVE ANALYSIS OF THE FUNCTIONAL DEPENDENCE BETWEEN THE PARAMETERS OF THE DAMPING VIBRATIONS IN MECHANICAL SYSTEMS	43
Hristo Sheiretov	RATIO OF THE MOTOR POWERS OF THE MAIN AND AUXILIARY CONVEYOR IN SANDWICH CONVEYORS	47
Hristo Sheiretov	COMPARISON OF THE METHODOLOGIES FOR THE DETERMINATION OF BELT CONVEYORS MOTOR POWER	51
Ilia lochev	ARE EFFECTIVE A METHOD FOR INCREASE IN HEIGHT OF RISE OF DRUM-TYPE MINE ELEVATING INSTALLATIONS	57
Ilia lochev	USING OF CENTRIFUGAL PUMPS AS TURBINES IN THE MINING ENTERPRISES	63
Boris Borisov Stefan Angelov Nikolay Petkov	PROCESS OF ROCKY MATERIALS DIAMOND DISC SAWING OPTIMIZATION	69
Boris Borisov Nikolay Petkov Stefan Angelov	RESISTIVE STRENGTHS AND TORQUES DURING THE PROCESS OF SAWING WITH DIAMOND WIRE SAWS	75
Petko Nedyalkov Dragomir Vrazhilski Dimitar Ralev	RESEARCH OF THE WORKING FREQUENCY DIAPASON FOR ROLLER BEARINGS	79
Dragomir Vrazhilski	EXPERIMENTAL EXAMINATION OF NATURAL FREQUENCIES AND DAMPING IN VIBRATION SEPARATOR	83

Konstantin Trichkov Vladko Panov	MAGNETIC FIELD CONFIGURATION OF VORTEX MACHINE WITH NO SECONDARY MEDIUM PRESENT	87
Konstantin Trichkov Konstantin Kostov	INVESTIGATION OF ELECTRICAL STRENGTH AND DIELECTRIC LOSS OF MAIN ISOLATION OF CONDUCTOFOL 2159	91
Konstantin Trichkov Konstantin Kostov	TRAVELLING MAGNETIC FIELD EXCITERS FOR VORTEX MACHINES	95
Konstantin Trichkov Romeo Alexandrov Andrei Kozarov	DYNAMIC PROCESSES IN VENTILATION CIRCUITS UNDER SMALL DISTURBANCES	99
Andrey Kozarev Julian Zaimov	REMOTE CONTROL OF THE ENERGY OF ELECTROSTATIC CHARGES	103
Andrey Kozarov Snejana Stoyanova	SOME POSSIBILITIES FOR ANALYTICAL STUDYING OF 3-D POTENTIAL FIELDS	107
Evtim Kartcelin	DETERMINING THE DISTRIBUTION OF POTENTIAL OVER INSULATING CIRCUITS	111
Todor Varbev	POSSIBILITIES FOR USING A MAGNETIC SHUNT TRANSFORMER AS MAXIMUM CURRENT PROTECTION	117
Rumen Istalianov	COMPARATIVE ASSESSMENT OF OPTIONS FOR REDUCING POWER CONSUMPTION FOR DRAINAGE OF AN UNDERGROUND MINE	121
Snejana Stoyanova	SENSOR FOR LINEAR MOVING	129
Stefan Chobanov	EFFECTIVENESS OF PROTECTIONS AGAINST LEAKAGE ON CURRENT WITH ZERO SEQUENCE IN SYSTEMS HAVING INSULATED NEUTRAL	133
Stefan Chobanov Ivan Ivanov	PLUG CONNECTIONS FOR MINING INDUSTRY	137
Stefan Chobanov Mento Menteshv	POSSIBILITIES FOR APPLICATION OF FIVE-CONDUCTING SYSTEMS WITH INSULATED NEUTRAL (IT) IN MINES	141
Georgi Georgiev Vladimir Hristov Rumen Rainov	THE POWER SYSTEM OF ASYNCHRONOUS ADJUSTABLE ELECTRICAL DRIVES – MODEL INVESTIGATIONS IN MATLAB/SIMULINK MEDIA	147
Milen Drenkov	EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE RESISTANCE OF NATURAL GROUNDING OF THE ELECTRICAL PROBES IN “ELACITE” PIT	151
Diana Detcheva Zdravko Iliev Ivan Stoilov	ARCHITECTURE OF THE SYSTEM FOR MONITORING OF THE ENERGY CONSUMPTION AT THE “STOMANA INDUSTRY” AD	153
Simeon Gagov	ABOUT A TRANSMISSION FUNCTION	157
Teodora Hristova	OBSERVE OF CORROSION STATE OF UNDERGROND PIPELINES THROUGH SENSOR’S EQUIPMENTS	161
Georgi Radulov Dimitar Todorov	IMPORTANT ANNIVERSARIES IN THE DEVELOPMENT OF THE AUTOMATION	167
Stefan Dimitrov Vesselin Kolev Veselka Spasova	SYSTEM FOR AUTOMATED INTRUSION DETECTION AND REPORTING IN COMPUTER NETWORK	171
Cristinel Popescu Vasile Cozma	NO-LOAD RUNNING OF ELECTRIC TRANSFORMERS	175
Cristinel Popescu Vasile Cozma	COAL – THE MAIN ENERGETIC RESOURCE AT NATIONAL AND WORLD LEVEL	179
Vasile Cozma Cristinel Popescu	ELECTRIC TRANSFORMERS PARALLEL WORKING	183

THE COEXISTENCE OF THE FORMS OF HETEROGENEOUS ACTIVITY IN IMM

Corina-Ana Borcosi¹, Mirabela-Lavinia Borcos²

¹ "Constantin Brancusi" University of Tg-Jiu, Geneva Street, Nr. 2, Gorj, corina_ana@hotmail.com

² Consiliul National al Intreprinderilor Private Mici si Mijlocii din Romania, Bucuresti, sondaje@cniipmmro.ro

ABSTRACT. The small and intermediate companies are economic and social entities in which they are produced goods and services destined to the market for satisfying the needs of the clients and obtaining profit. Even if, initially, at the making of an IMM it exists a single principal activity object, the desire to be competitive, to last on a market which is in a continuous transformation has generated also the appearance of other activities which the firm does, this coexisting in the same firm. The joint of these diverse activities at the level of IMM isn't easy to do, this paper work containing the presentation of the specific and the ways of combining in an entity.

СЪВМЕСТНО СЪЩЕСТВУВАНЕ НА РАЗЛИЧНИ ВИДОВЕ ДЕЙНОСТИ В МСП

Корина-Ана Боркоз¹, Мирабела-Лавиния Боркоз²

¹ Университет "Константин Бранкуш", Търгу Жиу, ул. Женева № 2, Гордж, corina_ana@hotmail.com

² Национален съвет на частните предприемачи в Румъния, Букурещ, sondaje@cniipmmro.ro

РЕЗЮМЕ. Малките и средни предприятия са икономически и социални единици, в които се произвеждат стоки и услуги, предназначени за пазара с цел удовлетворяване на нуждите на клиенти и получаване на печалба. Дори, когато при създаването на МСП то развива само една единствена дейност, в последствие желанието за конкурентноспособност и позиции на пазара, което означава непрекъснато трансформиране, генерира създаването и на други дейности за фирмата, които съществуват едновременно. Обединяването на тези дейности не е лесно на ниво МСП. Настоящият доклад представя специфичните пътища за комбиниране на дейностите в едно предприятие.

1. Introduction

The IMM-s thro the nature of their structure which is less complex than that of the big companies, have a bigger adapting capacity to the always changing needs of the market. This adaptation presumes the realization to a lot of distinct activities, harmonizing continuously the resources and the structure of the company with the new types of activities introduced. Distinct activities which can coexist swimmingly at the level of a single IMM can be: production activities render services, unrepitive activities and innovation activities.

2. Production activities

The classic structures of the IMM-s were conceived for the production of material goods. The splitting of the production in phases is considered the key of the concept of structure. Every phase of the goods production is defined as the exploded view assembly of the capacities, behaviors and technical means of which specific allows obtaining the effect of experience.

Initially the effect of experience is accredited to the learning of the work which has to be made due to repetition, reducing the time of execution and of the rerun. Latter we distinguish more factors of internal experience:

- the learning, which concept it bends over the production systems and conceiving products;

- innovation, which allows the more easy development of the production, more cheeps, allowing the growth of the product quality.

To these internal factors are joining some external ones like the series effect. The longer the series are, it is manifested the interest of purchasing some automatic means. These generate the reducing of the production costs and of those annexes of working the tools, with stops for changing the fabrication.

Earning experience leads to standardization and leveling the product. If the bid overcomes the demand they are no problems, because the demand is the main engine of the market. In this context until where we can go? How can coexist the big and the small series? These are questions which the companies' debate more and more often. A lot of time the fabrication of long and short series was considered incompatible, due to the difference of the means of realization, rigid in one case and flexible in other.

To be able to profit fully of the advantages of the big series production there has to be right forecasts. Small series allow a higher incertitude. It's difficult the coexistence of a large series production and a small one in the same firm, because it generates technical contradictions, the type of the equipment, and the degree and nature of automation.

It exists and some structural contradictions, the specialization degree and the coordination way, because the big series is more mechanist, in contradistinction to the small series, more organic. We meet even cultural contradictions, because the big series needs a higher conformity and strict exercise of the hierarchy and doesn't admit improvisations. In change the short series need a higher freedom of action.

The time of execution distinguishes big series from the small ones thro the horizon, allocating and delays. The differences between the companies with mass production and the ones with low series production have the tendency to be stopped. Small series allow a different attention and a prompt answer is the demand of the clients. Big series generate the reducing of the production costs and the accessibility of the product of a large number of consumers. To be competitive the companies have to accumulate advantageously the two situations.

About the structure of the IMM-s, we notice two major changes. A global and transversal organization examines permanently the product under all aspects: style, technical, realization method, to count the threats and opportunities of every aspect. The study departments and methods are reorganized to create area managers. The business managers consider the fully realization of an assembly. The responsibilities agents are associates in a department becoming the animators of a competence network.

Adapting to the client exigency brings new elements of variation and tension. For example, it is necessary the shorting of the delay thro the separation of the demand from the process of delivering, witch drives to the shorting of the series lanced in fabrication. The simple optimization of the internal functioning isn't possible any more. The chain of values has to be rethought and conceiving products has to be made in the idea of minimization of the lanced costs and those generated by changes in fabrications. The optimization can't be realized on the entirety chain of value, but must searched the optimizations on phases. what it is lost now must recover from the existent connexion between products. This could be realized internal, if the guy and the diversity of product allow this thing, or appealing at the tradesmans of big series. This evolutions was made remarked in more compartments: textiles (Benetton), automobiles, furniture (IKEA) etc.

It is a very important evolution because rehabilitate in discussion the integrated conception of factory organize for the optimizations of entirety chane of values. This phenomenon is happening in the organized factories in that manner so is realizing the concentration on the important phases (design, assembling, commercialization post-sell services) on a part or the involving a entirety of partners which occupy the studies of chane values realizing important series on the other hand.

The success of this type of restructuring depends by the capacity of integration in a common perspective by the dynamics of market, more independent than in situation of hierarchic coordination.

3. Activities of prestation services

The service is defined like a prestation with immaterial character to a client. The service place the client to a particular position of coproducer. Alain Dumont says: „, the services have

like finality the transformation of human competence , by an sick motif in a healthy on , by an ignorant in one educated [...] the world of services is the kingdom of those who know what they doing , which creating a binder between humans”.

The service can't be stopped because is realized and consumed concomitantly. If so immaterial the service offer must be materialized. That materialization is more necessary with so is speaking about by a service with an impalpable and powerful content. Neither factory can't defalcate to the delivery activities of services that occupying a place more or less preponderant.

The service can be associated with a physic product. It can be incorporate to one or many products having a complementary function in the satisfaction of a need (satisfacting the needs of displacement by an assembly compose by putting at finance, the assurance).

Because of immateriality the facilitation of accessing to services is an element induced for its activity. The location a strategically variable fundamental in this area.

The growing participation of the client has a preponderant function in the obtain satisfaction. Whatever will be the complexity of processes needed for realizing the service, the client satisfaction depends by the contact between front-office and the direct relation with the client. The client participation can be settling from conception to the commercialization of the service and could have a direct consequence to the cost and to his profitableness. If the administrate on in front-office made or not call to an interpersonal relation, the client involving offers to the information and communication an essential function.

The human dimension has a direct function to the client satisfaction. She represents another variable agent of offer. The aptness of the employs from front-office (commercial, institutional, technical) fluctuate in function of the nature of relation with the clients them level of complexity not being always compatible with the level of subaltern employs.

The impossibility aculation of services made more difficult taking serious the variation of demanding and adaptation to the clients demand. Plus this correspondence demand-offert has a directly function to the client satisfaction. The possibility of equalize the frequency demand by tariffs it is one of few instruments, available but without universal application.

The quality of services is a delicate problem. The client has a global perception and limited to the components of the service. His global satisfaction could be decreased by the weaklinessof a component also if it is marginal. Because of relative perceptions, the thinking of clients it isn't homogenous depending by the accounts with the services producer and by aleatorys elements which don't depends necessary by the delivery conditions.

The adaptation of structures centered on products at commitment of services performance isn't spontaneous. The services administration implicates a reflection departing by the client, by his expectances, by the type and his grade of implication. A central structure of production tends to accentuate the fabrication of its products. If we wish the

disposition of the client in the center of structure, we have three operations with key function in organizations: marketing, the transaction of human resources and communication.

The services administration made difficult pedimental division of works. Pedimental because the executors must understand the concept of service at who they must contribute for being performant. Horizontal because must evitated the strengthening of adaptation capacities immediate by reason of distributing compartments.

The services administration needs more tacit understanding, the contact agents with clients must be teachable with an important capacity of initiative. The services administration and bureaucracy isn't compatible, with exception of situation when the client is in an absolute and dependent position.

One of the services administration target is to adapt to the individual kind of which client and each situation. The avalanche of services in majority of the factories isn't strange by the priority accorded to the client and by the symbolic switching of hierarchic pyramid.

The characteristic of activities conduct to the modifications of the classic model of structure of procedure, norms, necessary standards for them who works directly with the client and also those for the back-office. The appreciate of necessity of the requirement of derogation must be most frequently quick, just instantaneous, in consequently, the treatment of the exceptions have not to be complete on hierarchical line.

The development of outsourcers is achieved frequently through the multiplication of the duty point's independent one from the others. Thus are formed meshes of agents, shops, hotels, restaurants. Depending on nature job and the density customers from one zone, these meshes intend to cover a geographical space more or less dense. Their development is rested on instruments of growth as franchise.

4. No repetitive activities

In an environment in full of scientifically development, with possibility of diversify the bid of products and jobs, the innovation represent the initiatives of enterprise.

The numerousness failures and successes bring into prime even the idea that must be the first in order to obtain from innovation competitive important advantages. Therefore, the enterprise must not only to stand large opened to exterior, responsive to evolution of society but also capable of generate quick new products and jobs and to offers them at the opportune moment.

The Innovation don't is reduced only to the technically or technological content and calls into play an ensemble of complex process organizational, relational and intellectual. This process regards whole productive system in which activities the enterprise.

The enterprise discover in a space of innovate which is built temporally through interactions with and between investigatory, education and industrial institution. At her turn the enterprise

must to create and to develop a new bid, new markets, new contacts with the partners, the customers, the purveyors.

The innovation cause cooperations and decisions who exceeds the frame of the enterprise. In certain schemes, the technique innovation tends to externalize it self with the purpose to enable the enterprise to focus on the market, to theirs customers.

The hierarchical-functional model drives to division of responsibility of the innovation between the development department and research department. Due to the specifically work, constrain whereat they are submissive and the external factors wherewith enter into relationships, the engineers which works to innovate belong to a professional communities that is expanded outside of the frontiers of the enterprise.

Innovation doesn't adjust to the possibilities and rhythms from the functional hierarchical frame where the reiterative activities take place. The cyclical vision of exploitation involve a rapport with time in which times limits can be excided while the innovation needs for his production a much more regular time. The plugging dates represent for innovation fundamental elements in challenge of decisions or arbitraries which cannot be achieved in uncertainty.

In the innovation domain the concept of project found a privileged way of utterance. Organize on projects determine a change of work system and allow the proximity of some jobs whose eclecticism do not allow cooperation in a normal way. It introduces multiple relations and varied agreement between professionals, about replacement of collective and iterative processes, and linear processes produced by horizontal and vertical division of work.

Regardless of organization's maturity, it is necessary to transform the structure on functions in a structure which intercross the functions and the projects of innovation. This transformation is easier for a company with a powerful transversal maturity, in which exists the custom of communication between the personnel. When administrating a continual flux of innovations, this intercross can go till a matricidal structure where the innovation is incorporated to exploitation in a perspective on a medium term corresponding to a life cycle of a gamut of products. This way obliges to identify the new actors, to create a process with union of different functions.

The first difficulty is to accept the projects on functions. On the other side, introducing a global tackling of the optimization which can undermine the optimization on functions, it is consolidate the level of technical constraint instigate at a compromise.

The second difficulty ensues in construction of a multidiscipline but limited team. The third difficulty is to adopt the organization on logical functions of project, designate responsible at level of studies, methods and fabrications for entreties defined while conceiving the project.

Regardless of the meeting with difficulties, the successful union of inconsistent activities from a company contrive at its development.

5. Conclusions

The different activities and the coexistence forms under which they appear, either referring on the product of material goods, services or innovation, they diversified, adapting on the requirements of the society which evolves.

The production of goods, either is a small or large serial, has as a base the client's needs. In the performing services activity the client is seen as a co producer of that service, this relation contribute at the standardization of some difficult services, the relation with the client being a source of performing variation.

The no reiterative activities represent an exception, exceptional commands of goods and services and the manufacture of prototypes. The success of this commands depend on optimization of production capacities available. The achievement of an exceptional command requires changing the structure on functions, which is useful only in the reiterative commands. Sometimes it must be build an operationally structure which intend only to reach the purpose settled: to perform carry out an exceptional command the innovation of a product or service. This new structure is similar to a company whose existence limits itself to a certain goal.

To obtain from an innovation competitive advantages, the company must be perceptive to the changes, sensitive to society, to evolution but also capable to generate products and services which have been offered to the market at the timely moment. In innovation case is also used the projects structure which determine the transformation of the work system and

allow the approach of the professions whose eclecticism doesn't permit the normal cooperation.

The tensions between functions and projects are a source of progress if they have as a result detection of technical and organizational practices objectives, development of knowledge and functions or projects abilities.

The coexistence of the heterogeneous activities forms at the company level about the harmonization of the classical structure on functions with the ones structured on projects is the essence of company's evolution which must be always adapted to the market's requirements.

References

1. Dumitru Constantinescu, Tudor Nistorescu, Constantin Tumber, Gheorghe Meghisan – *Economia intreprinderii*, Ed. Economica, Bucuresti, 2002.
2. Michel Cremadez – *Organisation et strategie* – Ed. Dunod, Paris, 2004.
3. Pascal Charpentier, Xavier Deroy, Odile Uzan, Rolande Marciniak, Stephane Luong, Gerard Benoist Du Sablon – *Organizarea si gestiunea intreprinderii*, Ed. Economica, Bucuresti, 2002.
4. Ovidiu Nicolescu – *Managementul intreprinderilor mici si mijlocii*, Ed. Economica, Bucuresti, 2001.

Recommended for publication of Editorial board

THE AFFAIR PLAN – IMPORTANT APPLIANCE MANAGERIAL

Corina-Ana Borcosi¹, Mirabela-Lavinia Borcos²

¹ "Constantin Brancusi" University of Tg-Jiu, Geneva Street, Nr. 2, Gorj, corina_ana@hotmail.com

² Consiliul National al Intreprinderilor Private Mici si Mijlocii din Romania, Bucharest, sondaje@cnipmmro.ro

ABSTRACT. In the actual situation of Romanian integration in European Union, the major directions of development of the country will be assign be lead with programs witch will structurate the legal bed, economic, social in witch they could use the UE fund's. The ability to have idea's of affair's realistic, incorporated in projects and plan's of affair professional elaborated assures the access to the fund's unreadable but repayable (in the case you address to a bank to obtain a borrow) and contributes to the development of own affair.

ПЛАН ЗА ДЕЙСТВИЕ – ВАЖНО СРЕДСТВО ЗА УПРАВЛЕНИЕ

Корина-Ана Боркоз¹, Мирабела-Лавиния Боркоз²

¹ Университет "Константин Бранкуш", Търгу Жиу, ул. Женева № 2, Гордж, corina_ana@hotmail.com

² Национален съвет на частните предприемачи в Румъния, Букурещ, sondaje@cnipmmro.ro

РЕЗЮМЕ. При реалното интегриране на Румъния в Европейския съюз основните насоки на развитие на страната са свързани с програми, които структурират законовата рамка, както и икономическите и социалните аспекти при усвояването на фондовете на Европейския съюз. Способността за генериране на идеи и въвеждането им в проекти и създаването на професионални планове за действие осигурява достъп до фондове (дори в случай, когато се обръщате към банка за получаване на заем) и допринася за развитието на собствения бизнес.

1. Introduction

The affair plan is a method of management witch anticipates the future witch the enterprising want's for his affair. Exists even other situations beside acquire a borrow, for witch to dra a affair plan: in the case to associate with another firm, in the case of privatisation of the company, in the case to be quoted at the stock exchange. Beside his use in the situation distinctes attendanced anterior, the affair plan won't be a appliance managerial if he with not be use periodic in next aims.

- evidenceat affects of different factors externalto the firm (the market, the bed economic-legislativ etc.)
- the dra of proections financial for future, with the care that the analyse economic-financial to be favorable to the firm, that means the indicators economic-financial to reflect the return of future affair evolution .

To update periodic the content of a affair plan, this becomes a appliance decisional important of the manager.

2. Structure of a affair plan

Although the structure of a affair plan is not a structure standard, however, all affair plans includes the same essential elements :

- A. The synthesis of the affair plan;
- B. The presentation of the firm;
- C. The description of the products and services;
- D. The program of marketing and sales;
- E. The development of the products and services;

F. The financial plan;

G. Appendices;

In continuance will we present each component of the plan affair to understand what really means a affair plan.

The synthesis of the affair plan comprise a short information presentation of the firm, informations about products/services offered, about their market. It's describe the approach of realization and assignment products/services to clients. The synthesis is finished with the necessary of funds granted and the sources of financing, making a analyse economic-financial witch demonstrates the efficiency of the affair.

The presentation of the firm is a chapter introductory witch familiarize with society. They comprise here information such as: the name of the firm and administrator, behavior judicial, the profile of the firm, short historical concerning the activity evolute.

The description of the products and services of the firm assumes the presentation of the tips of products and services obtained, the description of processes of fabrication witch lead at ther e realisation, to point the features characteristic of products/services accomplished (cost, attribute, performance, etc.) accentuate the necessity of technology changes, indicates the evolution of techniques and technology in the respective domain, at world level.

The marketing program and sales describes the segment of market with the products/services address to, present the situation of sales in the past, present and future, comprises the possibility's of promotion and distribution of products/services, sale conditions and payment. This chapter is very important chiefly because him should convince the fact that the affair has market and he is and will be gainful.

The development of the products and services comprise informations about the future generation of products/services, own actions of research, development, innovation, determined the products/modern services, the market segment for each product/new service, valuation elaboration of new products/services in next years. These chapter is accentuation the band between the activity of research-development and what the market wants.

The financial plan explains in numbers the efficiency of activity's made be the firm pointing the success of the affair. Here are information's and foreseeing s concerning the costs performed and finance collected be the firm, a situation of cash-flow, making a foreseeing on medium term of this with the specification of sources of financing possible. In this chapter is very important that the foreseeings for next years to be as more as realistic, being necessary for this for informations as more as exact.

The plan affair is finishing with the attaching of documents with reference to the activity and performance of the firm, to bring a plus of information favourable, necessary to maintain the affair plan. This documents are grouped in addition to the affair plan, with comprise between others and: balance accountant agreement, agreements with actual clients, to prove the intention of future clients to buy products/services with they will accomplish, price offers for machinery, technology wich will be acquire, price offers for raw materials, materials necessary technology process. Laying out for a affair answers the needs to be informed on the next elements banded on own affair:

- opportunity of the affair;
- the factors – key with depend the success of the affair;
- resources used in starting/developing the affair;

- the opportunity's in evolution of the agent internal and external with could disturbance the starting/developing the affair.

3. The implementation of the affair plan

The implementation of the affair plan assumes the inking to the level of the firm with he was made for. For his unwinding could be extended on more years, the implementation carry's and revision and his adaptation to the new reality's of the firm. The revision of the affair plan means in fact the test of the validity of the objectives determined, the financial plan, the marketing plan and their accommodation to the new situations internal and external of the firm. Because a plan affair to be applied with success it's necessary that the revision should be made terminal.

In the implementation of the affair plan could appear situations unforeseen like: modifications legislative, strikes, natural calamity's, etc. with they can actuate even at the necessity to make another affair plan.

4. Conclusions

The plan affair, as method of management, is use be managers for setting up and development of the affairs. This it's address with priority to management of high level of the firm, the potential investors and creditors, making it easy to communication internal and external over what it wants to be in the firm in future.

The importance of building a affair plan is given be the fact that this is an appliance of work that actuate at cognition and conviction of the future affair partners: investors, creditors, on affair success.

5. References

- 1) Ovidiu Nicolescu – “The management of the enterprises small and medium“, Ed. Economica, Bucuresti, 2001.
- 2) Ovidiu Nicolescu – “Systems, methods, and techniques managerial of organization“, Ed. Economica, 2000.

Recommended for publication of Editorial board

VECTOR CONTROL OF INDUCTION MACHINES

Ilie Borcosi¹, Alina Dincă², Daniela Nebunu³, Antonie Nicolae⁴

¹ "Constantin Brancusi" University of Tg-Jiu, Geneva Street, Nr. 2, Gorj, ilie_b@utgjiu.ro

² Constantin Brancusi University, Tg. Jiu, alina@utgjiu.ro

³ Constantin Brancusi University, Tg. Jiu, dana@utgjiu.ro

⁴ Constantin Brancusi University, Tg. Jiu, antonie.nicolae@utgjiu.ro

ABSTRACT. The vector control which consists of maintaining the orthogonality between the flux and active current, strengthens the advantages of using the induction motors, compared to the continuous current motors.

ВЕКТОРЕН КОНТРОЛ ПРИ ИНДУКЦИОННИТЕ МАШИНИ

Илия Боркоз¹, Алина Динча², Даниела Небуну³, Антони Николае⁴

¹ Университет "Константин Бранкуш", Търгу Жиу, ул. Женева № 2, Гордж, ilie_b@utgjiu.ro

² Университет "Константин Бранкуш", Търгу Жиу, alina@utgjiu.ro

³ Университет "Константин Бранкуш", Търгу Жиу, dana@utgjiu.ro

⁴ Университет "Константин Бранкуш", Търгу Жиу, antonie.nicolae@utgjiu.ro

Резюме: Векторният контрол, който представлява поддържане на ортогоналност между потока и реалния ток дава предимство на използването на индукционните електродвигатели в сравнение с електродвигателите на непрекъснат ток.

1. Introduction

For a long time, the induction motors were not a technical solution for adjustable control (driving), even though they are superior to the continuous current motor considering dimensions, weight, rotor ineptness, effective power, cost, reliability, exploitation expenses, etc.

Along with the recent developments in the power industrial electronics domain, with applications in variable speed driving, the adjustable driving with induction motors are used in a wide scale.

I talk about two development directions: one connected to the semiconductor devices (electronic valves) and the other one connected to their command circuits.

From the point of view of the automated speed adjustments systems with alternative current motors, a different approach must be considered, compared to the case with continuous current motors. At the continuous current motors, the flux and current in the induced circuit are independent (not coupled) and because of this, simple adjustment schemes have been designed, fully controllable and with good dynamic performances.

2. Asynchronous motor control principles

Until recently, the most used revolution adjustment method for an asynchronous motor was "Scalar Control" (or "V/Hz").

For this method, the motor works in an area in which the rotor flux is constant (volts proportionally to speed).

In case of the asynchronous motor with short-circuited rotor, the static converter must ensure the motor with the necessary active and reactive power for magnetization, because it external sources for excitation don't exist. They must be found in the statoric coiling of the asynchronous motor, both currents: excitation (reactive) and couple generator (active).

Field oriented control uses the spatial phases for modeling the AC motors, their complex structure being able to be transformed in one similar to the CC motor, characterized by the orthogonality between flux and current. As a consequence, the electromagnetic couple developed by the motor has permanently an expression of scalar product between flux and current, similar to the couple developed by the continuous current motors with separate excitation and so, maximum value. Adjustment of the couple through this method is done through decoupling the active and reactive components of the statoric currents, generators for couple and flux.

Because the expression of the electromagnetic couple may be written in different referential systems, solidary with the statoric, rotoric or magnetization flux, there are a lot of variants for adjustment schemes for each type of command.

Field control is made in a referential system which is solidary with the flux we need information about. The components of

the statoric current in the corresponding referential system are similar to the excitation and to the induced current, from the CC motor case. To elaborate a corresponding command for the inverter, the statoric currents must be in report with a fixed coordinates system, solidary with the stator, through a simple coordinates' transformation, function of the system the command was elaborated into.

The implementation of the vector command with orientation after the rotoric field is the most used method.

The vector command with statoric filed orientation presents as disadvantage the necessity of measuring the statoric tensions which in the case of the inverters with pulse width modulation, very often used in practice due to their advantages, are very strongly deformed and difficult to measure.

In the specialty literature there are command modalities with magnetization flux orientation.

There are a lot of vector command modalities, no matter the type of orientation, with direct and indirect methods.

Direct methods need measuring of the flux (command with flux reaction) through direct measuring of the specific quantities with Hall sensors, measurement inductivity or measure from the statoric coiling. These methods have been abandoned because they present a series of disadvantages:

- the Hall sensores, mounted orthogonally, measure the powerfully deformed signals because of the rotor's cuts' effects and they are mechanically and thermally solicited. The method needs special construction motors;
- the measurement coils eliminate the effects of the rotor's cuts through geometric mediation, but they need special motors. Also, the measurement coils detect the flux variations, which determines a weak behavior at low frequencies;
- use of statoric coiling as measurement coils eliminate

the necessity of some special motors, but there is necessary to compensate the drop of resistive tension before integration.

Indirect command methods are based on determining the amplitude and position of the flux phase from the so called flux model on the basis of the measured quantities (tensions, currents). These methods, despite their sensibility to the machine's parameters' variation and of the necessity of the speed transducer to be expensive and precise, they have a high applicability because they don't need field transducers (special motors). Another advantage is that two statoric currents and the rotation speed are necessary as reaction measured signals, the other reaction signals being calculated in real time from the "in current" model of the motor. That means the stator's parameters don't affect the model, because the statoric currents are measured.

The only important parameter of the asynchronous motor which can be modified is the time rotor constant, T_r , which increases in the high speed domain (decrease of flux), because of the desaturation of the machine and decreases with the increase of the resistance, at high temperatures.

Because of this reason, the indirect vector adjustment methods for the speed of asynchronous motors are mostly used, even though these methods need calculating the reaction quantities, development of the digital signal processors (DSP), they allow the implementation of the complex control functions specific to the AC motors, using the software instead of hardware components (which are more expensive)

In fig. 1 is shown a FOC control system. The AM is driven by the conventional voltage-source inverter. This system can be implemented using the DSC sZdspTMS320F218 and some additional hardware.

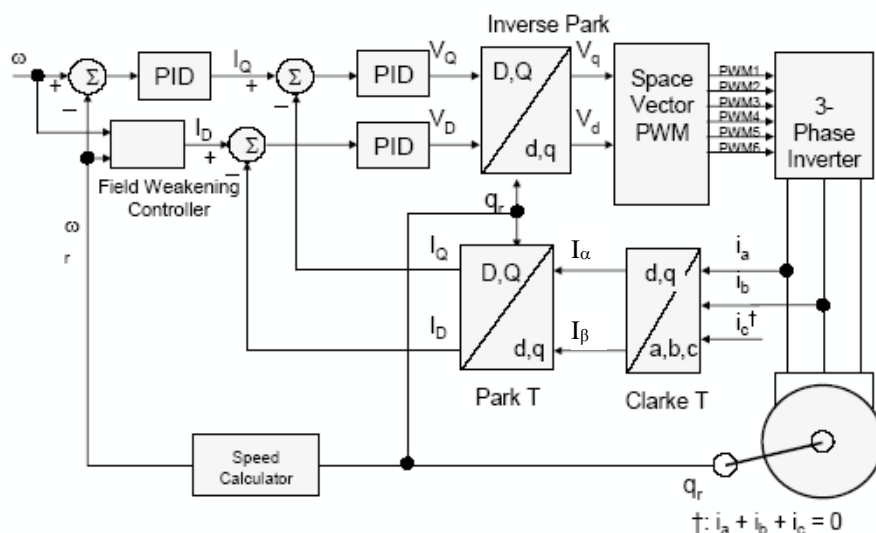


Fig. 1

The C2812 is generating six pulse width modulation (PWM) signals by means of space vector PWM technique for six power – switching devices in the inverter. Two input currents of the AM (i_a and i_b) are measured from the inverter and they are sent to the c218 via two analog – to – digital converters. The current on the third phase is not necessary to be calculated because it is obtained from the relation:

$$i_a + i_b + i_c = 0$$

The rotor position is required for variable transformation from stationary reference frame to synchronously rotating reference frame. The rotor position is obtained from the encoder. As a result of this transformation, the so called Park transformation, the q-axis current will be controlling torque while the d-axis current is forced to zero. In this case “d” means direct and “q” means Quadrature.

The Park transform has been around for 78 years. This theory requires very much mathematical calculations (matrix multiplications), which can be made in real-time with the help of DSPs.

This theory is not limited to sinusoidal distribution and can be applied to any kind of vector.

We start from the alimentation voltages' vector (V_s) of the stator (the voltage vector applied to the stator):

$$V_s = \begin{bmatrix} v_{s1} \\ v_{s2} \\ v_{s3} \end{bmatrix}$$

In fig. 2 is shown the change of the reference through Park transformation.

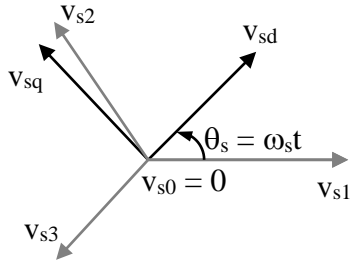


Fig. 2

This referential change transforms the V_s vector in a new vector as written below:

$$\begin{bmatrix} v_{s1} \\ v_{s2} \\ v_{s3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_s & -\sin \theta_s & 1 \\ \cos \left(\theta_s - \frac{2\pi}{3} \right) & -\sin \left(\theta_s - \frac{2\pi}{3} \right) & 1 \\ \cos \left(\theta_s - \frac{4\pi}{3} \right) & -\sin \left(\theta_s - \frac{4\pi}{3} \right) & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_{sd} \\ v_{sq} \\ v_{s0} \end{bmatrix}$$

or

$$\begin{bmatrix} v_{s1} \\ v_{s2} \\ v_{s3} \end{bmatrix} = [P(\theta_s)] \cdot \begin{bmatrix} v_{sd} \\ v_{sq} \\ v_{s0} \end{bmatrix} \text{ and } \begin{bmatrix} v_{sd} \\ v_{sq} \\ v_{s0} \end{bmatrix} = [P(\theta_s)]^{-1} \cdot \begin{bmatrix} v_{s1} \\ v_{s2} \\ v_{s3} \end{bmatrix}$$

For a three-phase balanced system the following relations can be written:

$$\begin{cases} \overline{v_{s1}} + \overline{v_{s2}} + \overline{v_{s3}} = 0 \\ \overline{v_{sd}} \cdot \overline{v_{sq}} = 0 \\ \overline{v_{sd}} \cdot \overline{v_{s0}} = 0 \\ \overline{v_{sq}} \cdot \overline{v_{s0}} = 0 \end{cases}$$

where:

- (v_{sd} , v_{sq} , v_{s0}) are called the Park coordinates;
- v_{sd} – is direct Park component;
- v_{sq} – is squaring Park component;
- v_{s0} – is homo-polar Park component;
- v_{s0} is null for a three-phase balanced
- each pair of components is perpendicular to each other.

In specialty literature is used the normalized Park transform for which the inverted matrix is much easier to calculate and which allows building an orthogonal referential change:

$$[P(\theta_s)] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \theta_s & -\sin \theta_s & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos \left(\theta_s - \frac{2\pi}{3} \right) & -\sin \left(\theta_s - \frac{2\pi}{3} \right) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos \left(\theta_s - \frac{4\pi}{3} \right) & -\sin \left(\theta_s - \frac{4\pi}{3} \right) & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}$$

The normalized Park can be seen as a result of the combination of the Clarke transform combined with a rotation.

Clarke transform converts balanced three-phase quantities into balanced two-phase orthogonal quantities, as in fig. 3:

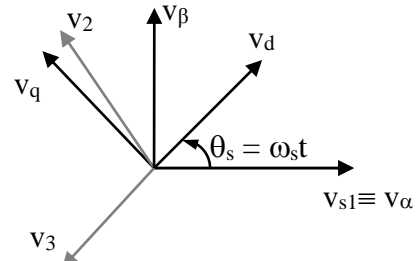


Fig. 3

Combining the Clarke and Park transforms as defined above, we move from the three-phase rotating domain to the stationary domain: we just need to control DC quantities in real-time.

To drive the power switches with new values we have to re-transform these stationary control values back into the three-phase rotating domain. This is done with a similar transform function called “Inverse Park”, as in fig. 1. The control itself is done with 3 instances of a C-cellable function “PID”.

3. Conclusions

The vector control offers to the asynchronous motors major advantages in report to the CC motors for the revolution adjustment systems.

Actual evolutions from the power electronics domain and the apparition of DSPs make possible the real-time control. In addition to this, Texas Instruments, world's leader for DSP production, puts at anyone's disposal for free all the necessary drivers.

4. References

1. I. Borcoși, Olaru Onisifor, Luminița Popescu, Cureleanu Sorin – *“Three Phase Inverter with U/f report constant”*, Conference with international participation “Gorjeanul in

mileniul III”, Tg-Jiu, 18-19 November 2005.

2. I. Borcoși, Luminița Popescu, Florin Grofu, Nicolae Antonie – *„Inverters with rectangular output voltage”*, the XIth edition of the scientific conference of the Faculty of Engineering, with international participation, 3-4 november, 2006, Tg-Jiu.
3. Sergiu Iovanov, *Vector adjustment of the electronic control systems*, Craiova University Printing House, Craiova, 2000.
4. www.ti.com

Recommended for publication of Editorial board

FUZZY ALGORITHM FOR THE COMMAND OF THE POSITION FOR THE PISTON OF AN ELECTRO-HYDRAULIC SYSTEM

Constantin Cristinel Vilan, Nebunu Daniela, Cercel Constantin

"Constantin Brâncuși" University

ABSTRACT. This paper presents the way to create a fuzzy regulator used to command a fluid flow servo-valve with force reaction, this servo-valve being the execution element of an electro-hydraulic adaptation system which adjusts the position on one axel. Practically, beginning from a value of the reference (the position in which we wish to move the free extremity of the hydraulic cylinder's piston's cane), for example at half the distance the piston covers and at a value of the speed with which the piston moves at a certain moment, the paper goes through all the stages of fuzzy algorithm and a firm value of the command which the regulator produces in this case. The spread of the applications' field of the numerical systems for adjustment and control of the technological processes is, obviously, sustained by the superior performances achieved by such systems, as is the case of the fuzzy system, comparing to the conventional analogical automated systems.

АЛГОРИТЪМ ЗА УПРАВЛЕНИЕ БУТАЛОТО НА ЕЛЕКТРОХИДРАВЛИЧНА СИСТЕМА

Константин Кристинел Вилан, Небуну Даниела, Керкел Константин

Университет "Константин Бранкуш"

РЕЗЮМЕ. Този доклад представя начин за създаване на регулатор за управление на серво-клапа за потока на флуида, като тази серво-клапа е изпълнителния елемент от електро-хидравлична система, която регулира позицията на една от осите. На практика, започвайки от дадена стойност (позицията, от които искаме да придвижим буталото на хидравличния цилиндър), например, на половината от разстоянието, покрито от буталото и скорост, с която буталото се движи в определен момент, докладът преминава през всички етапи на алгоритъма и стойността на командата, която дава регулатора в дадения случай. Широкото разпространение на приложението на числените системи за регулиране и управление на технологичните процеси очевидно се поддържа от характеристиките на тези системи, както е в случая на размитите системи, в сравнение с конвенционалните аналогови автоматизирани системи.

INTRODUCTION

In the last years, a significant increase of the number of various fuzzy applications has been noticed.

Applications of this type have extended upon different domains, such as: hi-tech filming devices (photo and recording cameras), washing machines, micro wave devices, and also upon the industrial control systems and the high performance medical instruments.

The experimental model (fig. 1) we designed to observe the ways in which a fluid flow servo-valve with force reaction can be controlled, is a one axel positioning system.

The servo-valve we used is one of the 72 series, built by MOOG and is voltage controlled ($-10 \div +10$ Vcc), with 300Ω resistance at the command coil.

The hydraulic cylinder with double effect has a distance of 250mm for the piston to cover and piston's diameter of 60mm. The position transducer WE used is a resistive transducer (multiple shift potentiometer), and consists of a system which converts the translation movement of the piston into a rotation movement which is transferred directly to the potentiometer.

The control of the process is made with the help of the computer through an acquisition and control board which is based on a ATME1 89C52 microcontroller, and which communicates with the calculus system through the serial port. The acquisition system has:

- an analogical input to read the potentiometer;
- an analogical output for the numerical-analogical converter which controls the servo-valve;
- a serial communication channel for the connection with the computer.

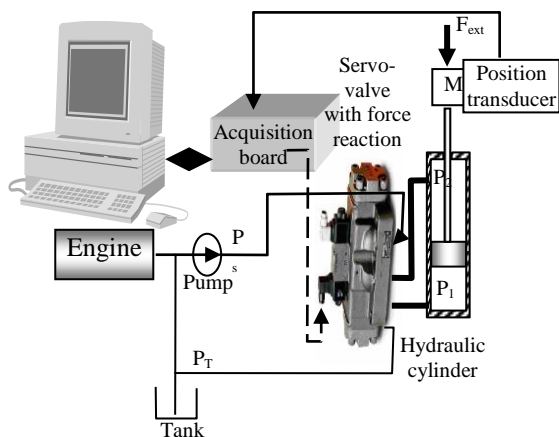


Fig.1. The functional scheme of the designed experimental system

DESIGN OF THE FUZZY REGULATOR
CHOOSING THE LINGUISTIC VARIABLES AND TERMS

To adjust the position of the cylinder's piston, we defined three linguistic variables, associated to the input quantities (position error and movement speed of the piston) and output quantities (command):

- position error – an input linguistic variable which varies between $[e_{min} \div e_{max}]$ mm;
- movement speed of piston – the second input linguistic variable which calculates as the ratio of the distance between two successive readings of the position transducer and the time between the two readings, with values in the interval $[v_{min} \div v_{max}]$ mm/s;
- command – output linguistic variable which varies between $[U_{min} \div U_{max}]$.

Observation: The variation domain of the output (command) is considered in unities of the numeric-analogical converter (NAC) MAX 536, used for the command of the servo-valve. This is a convertor on 12 bits with differential output $(-2,5 \div +2,5)$, the domain in which the command of the fuzzy regulator varies is $(0 \div 4096)$. So:

- when we want a 0 command, the number of NAC must be 2048;
- when we want a $(-2,5 \div 0)V$ command, the number of NAC unities must be between $(0 \div 2048)$;
- when we want a $(0 \div +2,5)V$ command, the number of NAC unities must be between $(2048 \div 4096)$.

It follows a vague representation of the position error for the variation domain $[e_{min} \div e_{max}]$ mm and of the movement speed of the piston for the $[v_{min} \div v_{max}]$ mm/s domain, through the affiliated functions and a vague representation of the command for the $[U_{min} \div U_{max}]$ domain.

The linguistic variables position error may be vaguely characterized through the following linguistic terms:

ϵ_{Mn} – high negative position error - with the affiliation function:

$$\mu_{\epsilon Mn} = (\epsilon_{min}, \epsilon_{Mn}, \epsilon_{Mn}, \epsilon_{zen}) \quad (1)$$

ϵ_{mdn} – medium negative position error - with the affiliation function:

$$\mu_{\epsilon mdn} = (\epsilon_{Mn}, \epsilon_{mdn}, 0) \quad (2)$$

ϵ_{ze} – zero position error - with the affiliation function:

$$\mu_{\epsilon ze} = (\epsilon_{zen}, 0, \epsilon_{zep}) \quad (3)$$

ϵ_{mdp} – medium positive position error - with the affiliation function:

$$\mu_{\epsilon mdp} = (0, \epsilon_{mdp}, \epsilon_{Mp}) \quad (4)$$

ϵ_{Mp} – high positive position error - with the affiliation function:

$$\mu_{\epsilon Mp} = (\epsilon_{zep}, \epsilon_{Mp}, \epsilon_{max}, \epsilon_{max}) \quad (5)$$

where ϵ_{min} , ϵ_{max} , ϵ_{zen} AND ϵ_{zep} are given as initial data, and other parameters are to be calculated for generality with the following relations:

$$U_{ip} = \epsilon_{max}/3; U_{in} = \epsilon_{min}/3; \epsilon_{min} = -250; \epsilon_{max} = 250; \epsilon_{Man} = 2 * U_{ip};$$

$$\epsilon_{mdn} = U_{in}; \epsilon_{mdp} = U_{ip}; \quad (6)$$

$$\epsilon_{Map} = 2 * U_{ip}; \epsilon_{zen} = -100; \epsilon_{zep} = 100;$$

As is observed in fig. 2a and b, for the linguistic variables: position error and movement speed of the piston, the shapes of the affiliated functions afferent to the linguistic terms ϵ_{Mn} , V_{Mn} , ϵ_{Mp} , V_{Mp} , is like a trapeze, and for the linguistic terms ϵ_{mdn} , V_{mdn} , ϵ_{ze} , V_{ze} , ϵ_{mdp} si V_{mdp} is triangular symmetric.

Linguistic variable speed of movement of the piston can be vaguely characterized through the following linguistic terms:

V_{Mn} – high negative speed with the affiliated trapeze function:

$$\mu_{V Mn} = (V_{min}, V_{min}, V_{Man}, V_{zen}) \quad (7)$$

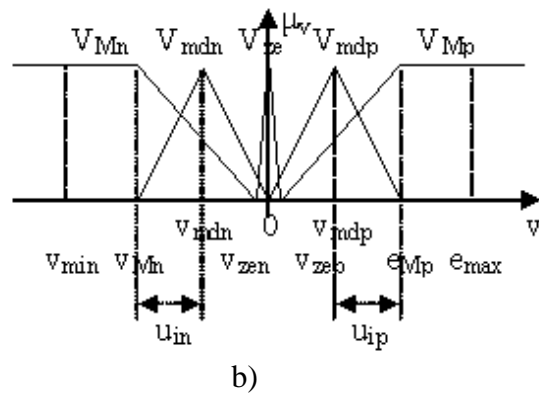
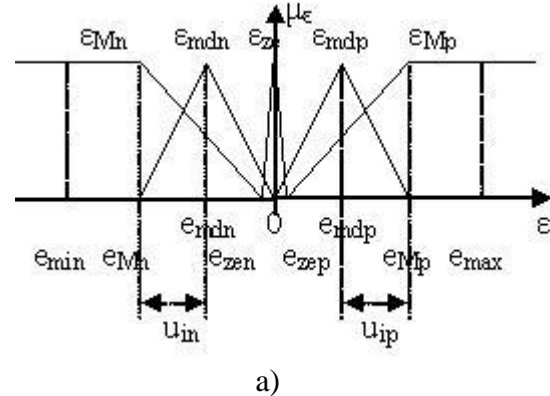


Fig.2. The shape of the affiliated functions for the linguistic variables: position error and speed of piston

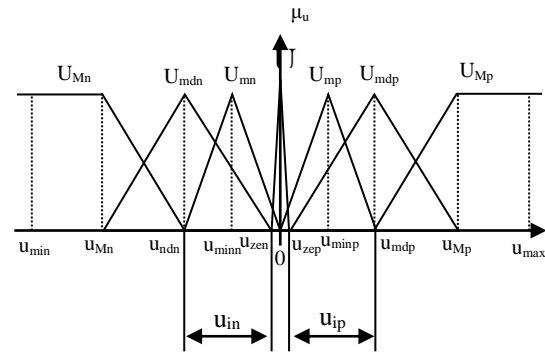


Fig.3. The shape of the affiliated functions for the linguistic variable command

V_{mdn} – medium negative speed with the affiliated triangular function:

$$\mu_{V mdn} = (V_{Man}, V_{mdn}, 0) \quad (8)$$

V_{ze} – zero speed with the affiliated triangular function:

$$\mu_{V ze} = (V_{zen}, 0, V_{zep}) \quad (9)$$

V_{mdp} – zero speed with the affiliated triangular function:

$$\mu_{V mdp} = (0, V_{mdp}, V_{Map}) \quad (10)$$

V_{Mp} – the high positive speed with the affiliated trapeze function:

$$\mu_{V Mp} = (V_{zep}, V_{Map}, V_{max}, V_{max}) \quad (11)$$

To represent vaguely the linguistic variable speed of movement for the piston, I adopted the following calculus relations:

$$\begin{aligned} U_{ip} &= V_{max}/3; U_{in} = V_{min}/3; V_{min} = -100; V_{max} = 100; V_{Man} = 2 * U_{ip}; \\ V_{mdn} &= U_{in}; V_{mdp} = U_{ip}; \\ V_{Map} &= 2 * U_{ip}; V_{zen} = -40; V_{zep} = 40; \end{aligned} \quad (12)$$

The linguistic variable command can be vaguely characterized through the following linguistic terms:

U_{M-n} – high negative command with the affiliated trapeze function:

$$\mu_{U_{M-n}} = (U_{min}, U_{min}, U_{Man}, U_{mdn}) \quad (13)$$

U_{md-n} – medium negative command with the affiliated triangular function:

$$\mu_{U_{md-n}} = (U_{Man}, U_{mdn}, U_{zen}) \quad (14)$$

U_{m-n} – low negative command with the affiliated triangular function:

$$\mu_{U_{m-n}} = (U_{mdn}, U_{minn}, 0) \quad (15)$$

U_0 – zero command with the affiliated triangular function:

$$\mu_{U_0} = (U_{zen}, 0, U_{zep}) \quad (16)$$

U_{m-p} – low positive command with the affiliated triangular function:

$$\mu_{U_{m-p}} = (0, U_{minp}, U_{mdp}) \quad (17)$$

U_{md-p} – medium positive command with the affiliated triangular function:

$$\mu_{U_{md-p}} = (U_{zep}, U_{mdp}, U_{Map})$$

U_{M-p} – high positive command with the affiliated trapeze function:

$$\mu_{U_{M-p}} = (U_{mdp}, U_{Map}, U_{max}, U_{max}) \quad (18)$$

To represent vaguely the linguistic variable command, I adopted the following calculus relations:

$$\begin{aligned} U_{min} &= 0; U_{max} = 4096; U_{zen} = 2000; U_{zep} = 2096; U_{in} = (U_{zen} - U_{min})/3; \\ U_{minp} &= 2048 + (U_{mdp} - 2048)/2; U_{minn} = 2048 - (U_{mdp} - 2048)/2; \\ U_{mdp} &= 2048 + U_{zep} + U_{in}; U_{mdn} = 2048 - U_{zen} - U_{in}; U_{Mp} = 2048 + U_{zep} + \\ &2 * U_{in}; U_{Mn} = 2048 - U_{zep} + 2 * U_{in}; \end{aligned} \quad (19)$$

The shape of the affiliated functions afferent to the linguistic terms U_{M-n} si U_{M-p} is a trapeze, while the one of the U_{md-n} , U_{m-n} , U_{m-p} , U_{md-p} and U_0 are triangular symmetric as seen in fig. 3.

When I built the base of rules, I took into account:

- the number of sequences of the base of rules (not to mistake the number of sequences with the number of rules) is equal to the number of linguistic terms of the input linguistic variable position error;
- we continue to consider that the position reference is situated at the half of the piston distance to cover;
- we consider the high positive position error when the piston is retired into the cylinder;
- we consider the zero position error when the piston is close to the half of the distance;
- we consider the high negative position error when the piston almost got out the cylinder;
- the speed is positive when the piston moves to right (forward move) and negative when it moves to left (withdraw move);
- also, the command can be low, medium and high in a positive way when the piston goes forward, so that its speed to become positive, low, medium and high in a negative way when the piston retreats, and zero command when the piston doesn't move.

Taking into account the considerations above and all the situations which may appear in the regulated process, the whole resulted base of rules is:

- R1: IF (ϵ_{Mn} AND v_{Mn}) THEN U_{M-n} ;
- R2: IF (ϵ_{Mn} AND v_{mdn}) THEN U_{M-n} ;
- R3: IF (ϵ_{Mn} AND v_{ze}) THEN U_{M-n} ;
- R4: IF (ϵ_{Mn} AND v_{mdp}) THEN U_{M-n} ;
- R5: IF (ϵ_{Mn} AND v_{Mp}) THEN U_{M-n} ;
- R6: IF (ϵ_{mdn} AND v_{Mn}) THEN U_{md-n} ;
- R7: IF (ϵ_{mdn} AND v_{mdn}) THEN U_{md-n} ;
- R8: IF (ϵ_{mdn} AND v_{ze}) THEN U_{md-n} ;
- R9: IF (ϵ_{mdn} AND v_{mdp}) THEN U_{md-n} ;
- R10: IF (ϵ_{mdn} AND v_{Mp}) THEN U_{md-n} ;
- R11: IF (ϵ_{ze} AND v_{Mn}) THEN U_{m-n} ;
- R12: IF (ϵ_{ze} AND v_{mdn}) THEN U_{m-n} ;
- R13: IF (ϵ_{ze} AND v_{ze}) THEN U_0 ;
- R14: IF (ϵ_{ze} AND v_{mdp}) THEN U_{m-p} ;
- R15: IF (ϵ_{ze} AND v_{Mp}) THEN U_{md-p} ;
- R16: IF (ϵ_{mdp} AND v_{Mn}) THEN U_{md-p} ;
- R17: IF (ϵ_{mdp} AND v_{mdn}) THEN U_{md-p} ;
- R18: IF (ϵ_{mdp} AND v_{ze}) THEN U_{md-p} ;
- R19: IF (ϵ_{mdp} AND v_{mdp}) THEN U_{md-p} ;
- R20: IF (ϵ_{mdp} AND v_{Mp}) THEN U_{m-p} ;
- R21: IF (ϵ_{Mp} AND v_{Mn}) THEN U_{M-p} ;
- R22: IF (ϵ_{Mp} AND v_{mdn}) THEN U_{M-p} ;
- R23: IF (ϵ_{Mp} AND v_{ze}) THEN U_{M-p} ;
- R24: IF (ϵ_{Mp} AND v_{mdp}) THEN U_{M-p} ;
- R25: IF (ϵ_{Mp} AND v_{Mp}) THEN U_{M-p} ;

For another value of the reference, the basis of rules will have to be modified accordingly, in order for that a new sequence of the basis of rules to be evaluated function of the value. To reduce the complexity of this algorithm, we'll consider the reference at half the distance between min and max.

VAGUE INFERENCE. EVALUATION OF THE IF ...THEN RULES

The vague inference is the algorithm after which the implications IF (premise) – THEN (conclusion), reunited in a base of rules, are evaluated. In the evaluation of the inference we can use the MAX – MIN, MAX – PROD or SUM-PROD compositions.

To understand the inference mechanism which is the base of a fuzzy regulator, we have the following case study: We consider that at a certain moment, the position error has the value 125 and the movement speed of the piston is 25 mm/s.

To determine the affiliation degrees of these firm quantities at the corresponding linguistic terms, we used the affiliated functions of triangular and trapeze type.

The afferent value of the affiliation degrees of firm quantities $\epsilon = 125$ to defined linguistic terms are according to relation (17).

$$\epsilon_0 = \{0, 0, 0, 0.5, 0.37\} \quad (20)$$

Proceeding in the same way for calculation of affiliation degrees of firm quantities $v=25$ of piston movement speed, this are according to relation (18).

$$v_0 = \{0, 0, 0.37, 0.75, 0\} \quad (21)$$

In any τ moment, fuzzy algorithm activate rules from BRF (as parallel process). The output of each fuzzy rule is a fuzzy value, which result from basic operations in fuzzy logic. Therefore each rule from BRF represent a logic expression realized with conjunction AND operator.

Thereafter we apply AND operation of fuzzy sets, after that on output we obtain a punctual minimum of affiliation functions from entire definition domain of output variables.

So, for a rule from BRF with form:

$$R1: \text{ IF } (\varepsilon_{Mn} \text{ AND } v_{Mn}) \text{ THEN } U_{M_n}$$

we have:

$$\omega_{U_{M_n}} = \text{MIN}(0, 0) = 0; \quad (22)$$

where:

$\omega_{U_{M_n}}$ – is activation scalar value of fuzzy set U_{M_n} .

So this is a rule which won't use because the activation scalar value of fuzzy set U_{M_n} of output variable is zero.

Follow up we retain only the useful rules for the supposed numeric case which are 4.

$$R18: \text{ IF } (\varepsilon_{mdp} \text{ AND } v_{ze}) \text{ THEN } U_{md_p}$$

For this rule the activation scalar value is: $\omega_{U_{md_p}} = \text{MIN}(0.5, 0.37) = 0.37$;

$$R19: \text{ IF } (\varepsilon_{mdp} \text{ AND } v_{mdp}) \text{ THEN } U_{md_p}$$

For this rule the activation scalar value is: $\omega_{U_{md_p}} = \text{MIN}(0.5, 0.75) = 0.5$;

$$R23: \text{ IF } (\varepsilon_{Mp} \text{ AND } v_{ze}) \text{ THEN } U_{M_p}$$

For this rule the activation scalar value is: $\omega_{U_{M_p}} = \text{MIN}(0.37, 0.37) = 0.37$;

$$R24: \text{ IF } (\varepsilon_{Mp} \text{ AND } v_{mdp}) \text{ THEN } U_{M_p}$$

For this rule the activation scalar value is: $\omega_{U_{M_p}} = \text{MIN}(0.5, 0.75) = 0.5$.

We remark that in inference process the rules can have like result the same output fuzzy set, in generally activated by the different ω_i coefficients. This is the case of rules R18 and R19 from this example which have the output fuzzy set the command U_{md_p} , respectively R23 and R24 which have the output fuzzy set the command U_{M_p} . Thereafter, the inference operation is analyzed on the entire level of BRF through a composition technique of the elementary inferences results (from each i rule activated).

In this case we use the composition method noted as MAX, according whom the rules which have the same output fuzzy set, this (output fuzzy set) is activated (ponderate) with the maximum value of ω_i coefficient.

Therefore the rules R18 and R19 the output fuzzy set U_{md_p} will be ponderated with $\omega_{U_{md_p}}$ coefficient calculated in this way:

$$\begin{aligned} \omega_{U_{md_p}} &= \text{MAX}(\omega_{18}, \omega_{19}) = \\ &= \text{MAX}(0.37, 0.5) = 0.5 \end{aligned} \quad (23)$$

respectively for the rules R23 and R24, the output fuzzy set U_{M_p} will be ponderated with $\omega_{U_{M_p}}$ coefficient calculated in this way:

$$\begin{aligned} \omega_{U_{M_p}} &= \text{MAX}(\omega_{23}, \omega_{24}) = \\ &= \text{MAX}(0.37, 0.5) = 0.5 \end{aligned} \quad (24)$$

The form of each activate fuzzy set from entire domain of output variable, depends on used "coding" diagram.

We will use a coding process with correlation by product, according to the fuzzy output of the system result by the multiplication of the affiliation functions of the output variable, with activation scalar value of i referred rule.

For supposed example the fuzzy output of the system is:

$$O = \text{MAX}(\omega_{18}, \omega_{19}) \cdot m_{U_{md_p}} +$$

$$+ \text{MAX}(\omega_{23}, \omega_{24}) \cdot m_{U_{M_p}} \quad (25)$$

which geometrical is summarized to the reunion of determinate areas by fuzzy sets resulted from coding, figure 4.

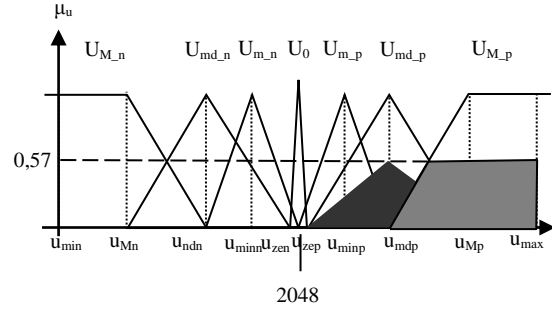


Fig. 4 Output fuzzy set

UNFUZZYING VAGUE INFORMATION

In this application we opted for the most used method of unfuzzifying, which offer the most consistent results, *the weight center method (centroid)*. According with this, if output fuzzy sets are determinate by the inference method with product correlation, then we may calculate global weight center from local weight centers of each i rule from BRF, as:

$$u_k = \frac{\omega_{U_{M_n}} I_{U_{M_n}} c_{U_{M_n}} + \omega_{U_{md_n}} I_{U_{md_n}} c_{U_{md_n}} + \dots}{\omega_{U_{M_n}} I_{U_{M_n}} + \omega_{U_{md_n}} I_{U_{md_n}} + \dots + \omega_{U_{M_p}} I_{U_{M_p}} + \dots + \omega_{U_{M_p}} I_{U_{M_p}} c_{U_{M_p}}} \quad (26)$$

where:

- ω_i is activation scalar value of i rule from BRF;
- I_i is surface area (triangle area or trapezoidal area);
- c_i is the ordinate of weight center of output fuzzy set fit to i rule.

For this numeric case the value of output is:

$$\begin{aligned} u_k &= \frac{\omega_{U_{md_p}} I_{U_{md_p}} c_{U_{md_p}} + \omega_{U_{M_p}} I_{U_{M_p}} c_{U_{M_p}}}{\omega_{U_{md_p}} \cdot I_{U_{md_p}} + \omega_{U_{M_p}} \cdot I_{U_{M_p}}} = \\ &= \frac{0.5 \cdot 333.3 \cdot 2762.2 + 0.5 \cdot 583.2 \cdot 3620}{0.5 \cdot 333.3 + 0.5 \cdot 532} = 3095.9 \end{aligned} \quad (27)$$

Because the number obtained is a real number and digital – to – analogical converter work only with integers, the value 3095.9 is rounded to proximate integer, that is 3096.

In figure 5 is represented the command interface of the experimental system implemented in LabWindows CVI. On this interface can observe the shape of the real response of positional system to few variation of position reference. The

small variation of the system response around reference in stationary condition is due to impreciseness of the position resistive transducer.



Fig. 5 Interface with real response of the system

CONCLUSIONS

The control fuzzy algorithm implemented in this example with LabWindows CVI software offers better performances so in transitory condition and in the stationary condition than classic PID algorithm. (this is based on practice) being visible the fuzzy control anticipation effect of next evolution of the piston. The advantage comes even from capability to modify the variation interval of linguistic defined terms, the capability offered by relations (6), (12), (19).

REFERNCES

- Ivănescu. M.,(2003) *Sisteme avansate de conducere în robotică*, Editura Scrisul Românesc, Craiova
- Preitl, Șt., Precup, E. (1995) *Introducere în conducerea fuzzy a proceselor*, Editura Tehnică, București
- Sofron, E., Bizon, N., Ioniță, S., Radian, R. (1998) *Sisteme de control fuzzy. Modelare AND proiectare asistată de calculator*, Editura ALL, București.

Recommended for publication of Editorial board

HIGH PERFORMANCE DIGITAL CONTROL SYSTEM OF AC MACHINES

Ilie Borcosi¹, Alina Dincă², Daniela Nebunu³, Antonie Nicolae⁴

¹ "Constantin Brancusi" University of Tg-Jiu, Geneva Street, Nr. 2, Gorj, ilie_b@utgjiu.ro

² Constantin Brancusi University, Tg. Jiu, alina@utgjiu.ro

³ Constantin Brancusi University, Tg. Jiu, dana@utgjiu.ro

⁴ Constantin Brancusi University, Tg. Jiu, antonie.nicolae@utgjiu.ro

ABSTRACT. Using Digital Signal Processor (DSPs) for command and control of asynchronous motors, make these much more important in comparison with direct current motors. The extension of numeric systems is preferable because they improve the performance and the reliability.

ЦИФРОВИ СИТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ С ВИСОКА ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТ ЗА ЕЛЕКТРОМОТОРИ С ПРОМЕНЛИВ ТОК

Илия Боркоз¹, Алина Динча², Даниела Небуну³, Антон Николае⁴

¹ Университет "Константин Бранкуш", Търгу Жиу, ул. Женева № 2, Гордж, ilie_b@utgjiu.ro

² Университет "Константин Бранкуш", Търгу Жиу, alina@utgjiu.ro

³ Университет "Константин Бранкуш", Търгу Жиу, dana@utgjiu.ro

⁴ Университет "Константин Бранкуш", Търгу Жиу, antonie.nicolae@utgjiu.ro

РЕЗЮМЕ. Използването на цифрови процесори за управление на асинхронни електромотори ги прави далеч по-често използвани от електромоторите с прав ток. Предпочита се използването на цифровите системи, тъй като те подобряват характеристиките и надеждността.

1. Introduction

The industrial processes use actuation systems which help start mechanical systems. To convert different forms of energy (electric, hydraulic, pneumatic, thermal) into mechanic energy, the help of motors is required.

Usually, the electrical actuation is used because of:

- electric power's availability;
- simple connection to energy source;
- electric motors robustness which allows overcharge in large limits for mechanical load;
- very good dynamic performances (short time for response between the moment when the common is applied and the moment of it's execution)
 - high energetic efficaciousness
 - high reliability
 - low price, cost and maintenance cost
 - possibility to modify revolution in large limits
 - compatibilities between the command systems and electric motors

Electric motors used in actuations may be: DC motors (Direct current motors), AC motors and stepper motors.

DC motors, compared to the AC ones, have much higher performances.

- command circuits are more simple
- large domain for revolution adjustment (between 5%–100% from the nominal revolution)

With all these advantages, DCM have, compared to ACM, some disadvantages:

- have a bigger size and are more expensive for the same developed power;
- need higher maintenance expenses because of the brushes' presence and of the collecting lamellas which deteriorate in time and need to be replaced.

In the last 20 years, the revolutionary development of the electronic systems and of the power semiconductors has been determined by certain requirements regarding rational use of electric energy, reactive power compensation, miniaturized of the electronic systems. In this period new power semiconductor devices appeared and have been improved (modules with power transistors, DMOS and IGB + transistors, other devices with high performance isolated grill, hybrid systems, intelligent modules).

They allowed inventing (building) new types of converters.

Texas Instruments designed the platform TMS320F2812 destined to the command and digital control of electric motors. It ensures a high performance level, and also a low cost for the whole command system, its architecture being built around a DSP microcontroller.

Command numeric systems' expansion is preferred because:

- they ensure an unitary character for information process because only numeric calculus is used;
- increases and reliability of the adjustment systems;

- simplifies the structure of the equipments through elimination of analogical regulators, of digital-analogical converters and of the electric device which measures the angular speed or electric voltage;
- influences of the environmental conditions are substantially reduced, and also the technological dispersions upon static and dynamic performances of the adjustment systems are reduced;
- the performances and reliability of the regulators are improved, the numeric adjustment system is a mathematical relation, adapting or changing the algorithm assumes a simple change of the relation's parameters or of the whole formula and not of the circuit which implements the algorithm;
- the cost price decreases significantly.

2. Description of the system

The performance of the exclusively digital structures are limited by the sampling in duration, which affects the dynamic of the system (response time), and of the sampling in amplitude of the signal, which affects the adjustment precision

in amplitude. To compensate these disadvantages, the following measures can be taken:

- designing some performing adjustment algorithms, which must compensate the sampling errors;
- use of fuzzy techniques and of the neural networks;

The use of DSPs offers a supplementary series of advantages:

- higher speeds of operation and higher resolutions;
- there can be used highly competitive adjustment algorithms which make it possible to reduce the number of sensors and transducers that are being used, and implicitly of the decrease of the cost price of the entire actuation system;
- lots of data can be calculated in a short time being gifted with powerful instructions (simultaneous addition and multiplication)
- allow the implementation of the adaptive driving systems, because they have the necessary calculus speed to monitor and drive the actuation system;

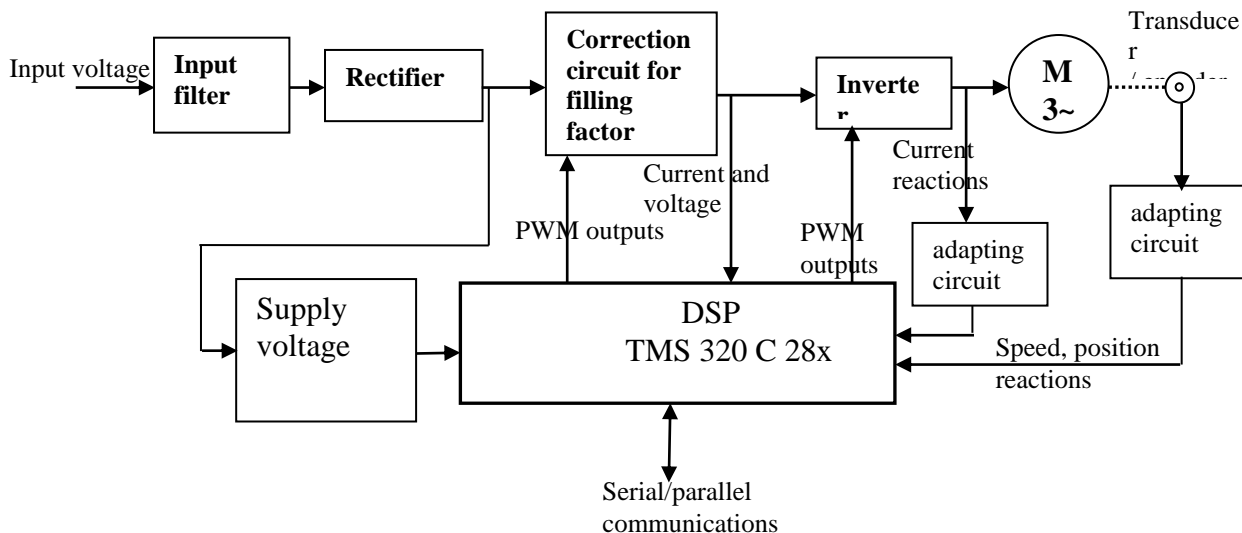


Fig. 1

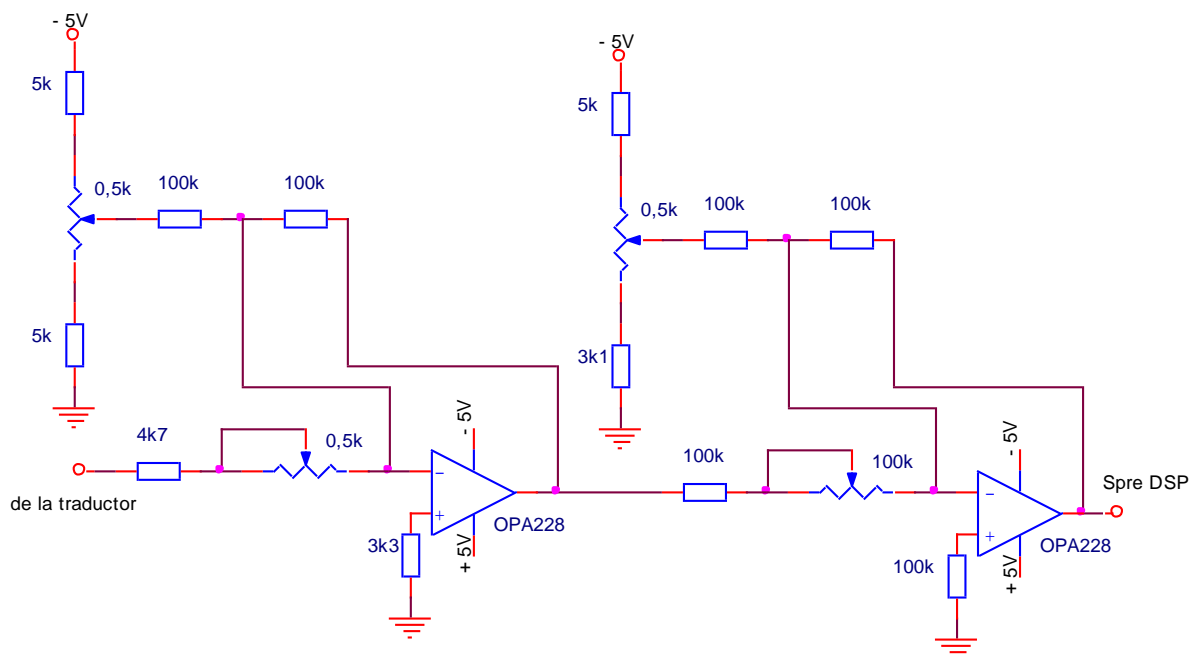


Fig. 2

- can monitor the frequency specter of the mechanic vibrations through use of spectral analysis and of the fast Fourier transform and, on this basis they can make a diagnosis, meaning that they can predict, in incipient phases, the damage states;
- allow the synthesize of the narrow band absorption filters with which the mechanic resonance (which may determine an instability of the adjustment system) is avoided.

In fig. 1 (below) is presented the block diagram of the speed of a AC motor from an adjustment system:

The current through the motor is measured with the help of two Hall transducers, mounted on two phases. The signal output from the transducers is adapted with the help of circuit in fig. 2.

The current transducers are LTS 25-NP type (LEM) with Hall effect and has the transfer characteristic:

$$V_{out} = f(I_p), \text{ as in fig. 3}$$

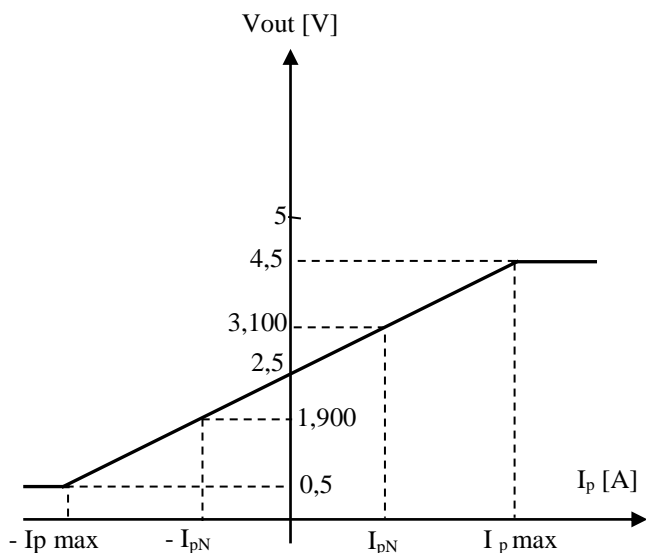


Fig. 3

For a certain pin connection, the effective nominal current from the primary circuit,

$$I_{pN} = 8A,$$

and the nominal output voltage is

$$V_{OUT} = (2,5 \pm 0,600)V.$$

In this application, the nominal current of the motor is 0,6A and the maximum value of the current through the motor is 1A. In this case, the maximum output voltage from the transducer is:

$$V_{OUT} = (2,5 \pm 0,6/8)V = (2,5 \pm 0,075)V$$

with a 75 mV variation.

The Operational Amplifiers (OA) from the adaptation circuit must have the offset voltage as low as possible, or even zero.

The first OA eliminates the 2,5V level, and eventually the offset, and the second one concentrates the signal to 1,5V because the DSP allows on the analogical inputs signals of 0÷3V.

The DSP's analogical-digital converters are on 12 bits and the signal will have to be adapted to 2,8672V for $F_p = 1A$.

The signal at DSP's input will have maximum variation $(1,5 \pm 1,3672)V$ with 0,7V/quantum.

To adapt the output signals into PWM and the digital input ones, logical circuits, open collector type, are used.

3. Conclusions

Command numeric systems' expansion is preferred because:

- they ensure an unitary character for information process because only numeric calculus is used;
- increases and reliability of the adjustment systems;
- simplifies the structure of the equipments through elimination of analogical regulators, of digital-analogical converters and of the electric device which measures the angular speed or electric voltage;
- influences of the environmental conditions are substantially reduced, and also the technological dispersions upon static and dynamic performances of the adjustment systems are reduced;
- the performances and reliability of the regulators are improved, the numeric adjustment system is a mathematical relation, adapting or changing the algorithm assumes a simple change of the relation's parameters or of the whole formula and not of the circuit which implements the algorithm;
- the cost price decreases significantly.

The use of DSPs offers a supplementary series of advantages:

- higher speeds of operation and higher resolutions;
- there can be used highly competitive adjustment algorithms which make it possible to reduce the number of sensors and transducers that are being used, and implicitly of the decrease of the cost price of the entire actuation system;
- lots of data can be calculated in a short time being gifted with powerful instructions (simultaneous addition and multiplication)
- allow the implementation of the adaptive driving systems, because they have the necessary calculus speed to monitor and drive the actuation system;
- can monitor the frequency specter of the mechanic vibrations through use of spectral analysis and of the fast Fourier transform and, on this basis they can make a diagnosis, meaning that they can predict, in incipient phases, the damage states;
- allow the synthesize of the narrow band absorption filters with which the mechanic resonance (which may determine an instability of the adjustment system) is avoided.

4. References

- 1) Ilie Borcoși, Adrian Mihăilescu, Olaru Onisifor, Vilan Constantin, "Folosirea microcontrolerului PIC 16F84 în comanda unui invertor.", Sesiunea de comunicări științifice a Universității Petrol-Gaze din Ploiești, 11-13 mai 2005, Buletinul Universității Petrol-Gaze din Ploiești volumul LVII, Seria Tehnica Nr. 2/2005, pag. 35-38, ISSN 1221-9371

- 2) Ilie Borcosi, Onisifor Olaru, Florin Grofu, „Comanda unui sistem de reglare a turatiei unui motor de curent continuu folosind microcontroller-ul PIC 16F84”, Sesiunea de comunicări științifice a Universității “C.Brâncuși” Tg-Jiu, 5-6 noiembrie 2004, ISSN 1221-9371, pag.163-166.
- 3) Ilie Borcoși, Grofu Florin, „Folosirea microcontrolerului PIC 16F877 în comanda unui invertor”, Conferința cu participare internațională “Gorjeanul în mileniul trei”, Tg-Jiu, 18-19 Noiembrie 2005.
- 4) www.ti.com

Recommended for publication of Editorial board

NUMERIC SIMULATION OF THE AUTOOSCILLATIONS AT THE PROCESSING OF METALS AND ROCK MATERIALS BY MILLING

Mikov I. N.¹, Shemetov M. G.², Rybin A. G.², Mezentzeva I. L.¹, Stefanova N. N.³

¹ *Moscow State Mining University, Russia*

² *Scientific and Research Institute for Aircraft Technologies, Moscow, Russia*

³ *University of Mining and Geology „St. Ivan Rilski”, Sofia, Bulgaria*

ABSTRACT. Because of the intermittence of the cutting at milling, the tool and the material are subjected to periodic oscillations, caused by the interaction of the tool and the material processed.

Often, at processing by cutting autooscillations begin and this as a rule, brings to unsatisfactory quality of the processed surface and sometimes, to the tool breaking and the blank damage.

The beginning of autooscillations brings to disturbance of the steady periodic motion of the tool centre, i. e. there is a presence of instability.

In the paper is researched the tool oscillation at milling by numerical simulation on the basis of simulative model of the milling process, including the tool dynamics (the calculation scheme of the model is composed with rendering an account of the experimental dependences of the alteration of cutting force at metal processing and the dynamic characteristics of the elastic system, determined experimentally by modal analysis) and the parameters of unevenness of the obtained surface. The Poincare section is used in the analysis of simulation.

Dependences of cutting forces at the processing of rock materials are suggested.

The model adequacy regarding the regeneration of the surface at the rock materials processing is researched, which allows the field of the model application to be assessed and enlarged.

The approach suggested, allows the zone of autooscillations of the system technological parameters to be determined and the quality of the processed surface to be assessed.

ЦИФРОВО МОДЕЛИРАНЕ НА СОБСТВЕНИТЕ КОЛЕБАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКАТА НА МЕТАЛИ И СКАЛНИ МАТЕРИАЛИ ЧРЕЗ ФРЕЗОВАНЕ

Миков И. Н.¹, Шеметов М. Г.², Рыбин А. Г.², Мезенцева И. Л.², Стефанова Н. Н.³

¹ *Московски държавен минен университет, Русия*

² *Научноизследователски институт по авиационни технологии, Москва, Русия*

³ *Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София, България*

РЕЗЮМЕ. Поради прекъснатостта на рязането при фрезование, инструментът и материалът са подложени на периодични колебания, предизвикани от взаимодействието им.

Често, при обработка чрез рязане, възникват собствени колебания, което, като правило води до неудовлетворително качество на обработената повърхност, а понякога - до счупване на инструмента и повреждане на заготовката.

Възникването на собствени колебания в системата предизвиква нарушаване на равномерното периодично движение на центъра на инструмента, т. е. получава се загуба на устойчивост.

В работата се изследва колебателното движение на инструмента при фрезование с използване на цифрово моделиране на базата на симулационен модел на процеса фрезование, включително динамиката на инструмента (изчислителната схема на модела е съставена с отчитане на експерименталните зависимости на изменението на усилието при рязане при металообработка и динамичните характеристики на еластичната система на машината, определена експериментално, с помощта на модален анализ). И параметрите на неравностите на получената повърхност. За анализ на резултатите от моделирането е използвано изображението на Поанкаре.

В работата са предложени зависимости за силите на рязане при обработката на скални материали. Изследвана е адекватността на модела по отношение регенерацията на повърхността при обработката на скални материали, което позволява да се оцени и разшири областта на приложение на модела.

Предложеният подход позволява да се определи зоната на собствените колебания в технологичните параметри на системата и да се оцени качеството на обработената повърхност.

Quality of the surface obtained at milling is influenced by the tool chatters and the forces arising between the tool and the blank. Depending on the values of the technological parameters it is possible the values of these factors to become unacceptable in some areas. In such cases, it is said that a loss of system stability appears, and more precisely, it has to be said that a loss of stability of its periodic motion appears. It is important the areas of processing parameters, where a

stable cutting and obtaining of the required surface quality are provided to be separate.

Different methods for assessment of the periodic oscillations of the tool at milling have obtained wide use in the field of metal working (Altintas Y., 2000; Inspeger, T., Stepan, G., 2000; Гуськов А.М., Рыбин А.Г., 2002). The adaptation of computation models allows the use of these approaches also at stone processing.

The oscillating motion of the tool at milling will be computed by use of numerical modeling on the basis of simulation model of the milling process with analysis of the tool dynamics and the roughness parameters of the surface obtained, suggested for working of metals (Миков И.Н., Рыбин А.Г., Мезенцева И.Л., 2008).

The computation diagram for the model in question is presented in fig. 1.

The main parameters are: cutter radius R , teeth number Z , feed of the tooth S_z , axial cutting depth b . Elastic characteristics of the tool fastening: rigidity k , damping value d , natural frequency of the system p_0 .

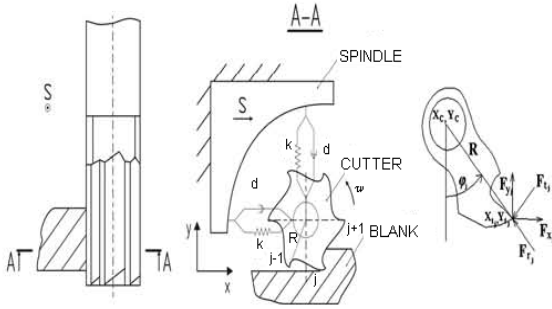


Fig. 1. Computation diagram

The projection of the cutting force on the axes Ox and Oy can be recorded as follows:

$$F_{xj} = -F_{rj} \sin(\varphi_j) - F_{tj} \cos(\varphi_j) \quad (1)$$

$$F_{yj} = F_{rj} \cos(\varphi_j) - F_{tj} \sin(\varphi_j) \quad (2)$$

The forces in radial and circumference directions could be approximated by the dependencies (Гуськов А.М., Рыбин А.Г., 2002):

$$F_{rj} = g_r \sigma_b b^2 \left(\frac{S_z}{b} \right)^q \left(\frac{h_j}{S_z} \right)^q \quad (3)$$

$$F_{tj} = g_t \sigma_b b^2 \left(\frac{S_z}{b} \right)^q \left(\frac{h_j}{S_z} \right)^q \quad (4)$$

Where g_r, g_t - dimensionless factors, characterizing the condition of the tool cutting edges; b - axial depth of cutting [m]; σ_b - strength limit of the processed material [N/m^2]; S_z - feed of the tooth [m]; h_j - second chip thickness [m]; q - non-linearity factor of the dependency of the cutting force on the chip thickness. It has to be mentioned that such a form of the record is preferable from the point of view of the dimensions theory and is invariant with respect to the system of the used quantities.

The full system of equations, describing the kinematics and dynamics of the system is as follows:

$$\begin{aligned} x_c &= x_0 + S_z Z t + u(t) \\ y_c &= y_0 + v(t) \\ x_j &= x_c + R \sin(\varphi_j) \\ x_j &= y_c - R \cos(\varphi_j) \\ \ddot{u} &= -p_0^2 u - 2dp_0 \dot{u} + \frac{1}{m} \sum_{j=0}^{z-1} -F_{rj} \sin(\varphi_j) - F_{tj} \cos(\varphi_j) \dots (5) \\ \ddot{v} &= -p_0^2 v - 2dp_0 \dot{v} + \frac{1}{m} \sum_{j=0}^{z-1} F_{rj} \cos(\varphi_j) - F_{tj} \sin(\varphi_j) \\ h_j &\leftarrow A(x_j, y_j, S) \end{aligned}$$

In the model presented, the second chip thickness is determined with rendering an account of the shape forming of the surface S . The processed surface S is determined as an array of points $S = \{P / P(x_k, y_k), k = 1, 2, \dots\}$.

The trajectory of the cutting edge is approximated to another circle determined by three points (three consecutive positions of the cutting edge). Points located on the cutting edge trajectory are added to the surface array in case of crossing of the approximating curve and the polygon restricting the surface. The points, which "have to be cut", are extracted from the array.

The chip thickness is determined as a distance from the cutting edge to the point of intersection of the line connecting the center of the cutter and the cutting edge with the line of the surface.

The research in stability is made by the Poincare section. At the section plotting, the points of intersection of the phase trajectory of the system with some non-tangential straight line have to be fixed, in this case, with the axis of ordinates of the phase plain. This way, n points of the Poincare section correspond to the steady periodic motion. In case of stability loss, the number of points in the section alters. The plotting of the section depending on any parameter (in this case, on the spindle turning velocity) gives the bifurcation diagram.

The modeling has been made for milling at the following parameters: cutting with two-tooth cutter with diameter 14 mm, feed of a tooth 0, 1 mm, radial cutting depth 1, 5 mm. Parameters of fastening:

$$k = 3 \cdot 10^6 H / m, \zeta = 0,06, \nu = 300 Hz$$

Factors for force dependences:

$$g_r = 2, g_t = 1, q = 1, \sigma_b = 750 MPa.$$

The computations have been made for velocities of tool turning 9000 min^{-1} and 10000 min^{-1} . In the first case, the frequency of the system excitation (frequency of the teeth cutting-in) is equal the natural frequency of the non-damped system. The cutting axis depth has varied from 4, 0 to 9, 6 mm.

The Poincare section and character of oscillations of the centre of cutter mass obtained according to the computation results are presented in figures 2 and 3.

The graphics show that in the resonance area the oscillations of the mass center in the total range, the alterations of the axial cutting depths corresponds to the periodical motion with growing amplitude. In case of processing at velocity 10000 min^{-1} , the loss of stability begins at cutting axis depth 5, 2 mm. With the increase of the cutting axis depth, the oscillations amplitude becomes bigger than the oscillations amplitude at resonance frequencies. From the bifurcation diagram a conclusion can be made that in the concrete case at loss of stability begins Poincare- Andronov- Hopf bifurcation.

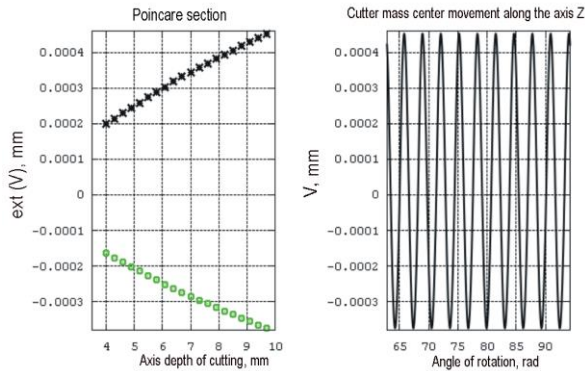


Fig. 2. Bifurcation diagram and oscillations of the centre of cutter mass(axial cutting depth 9.6 mm) at processing at velocity of the spindle turning 9000 min^{-1}

The approach suggested also allows the quality of the processed surface to be assessed.

Figure 4 shows the profile of the processed surface, obtained as a result of modeling.

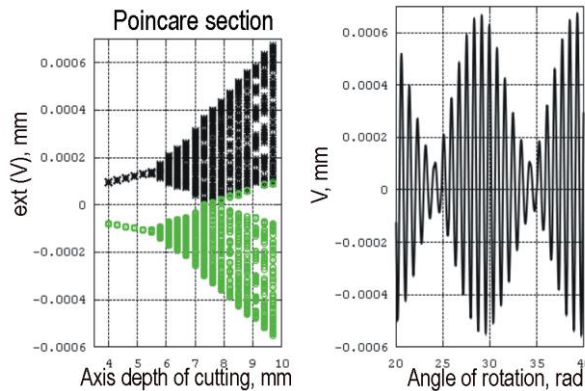


Fig. 3. Bifurcation diagram and oscillations of the centre of cutter mass(axial cutting depth 5.2mm) at processing at velocity of the spindle turning 10000 min^{-1}

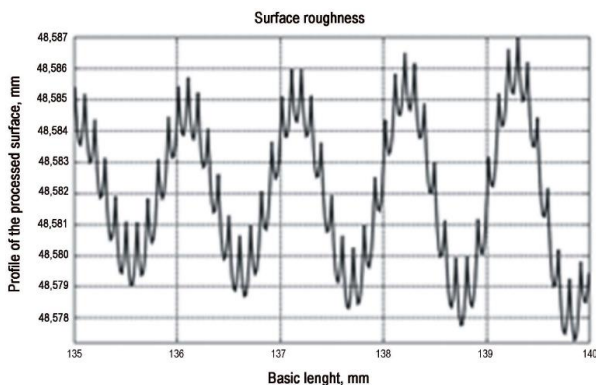
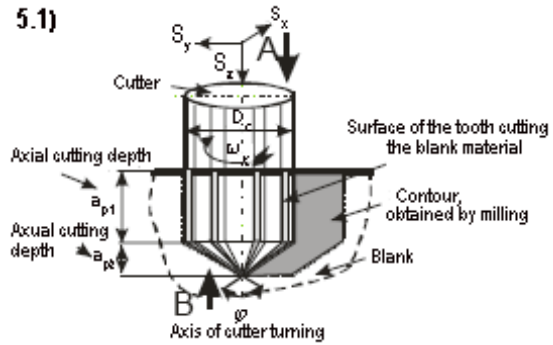


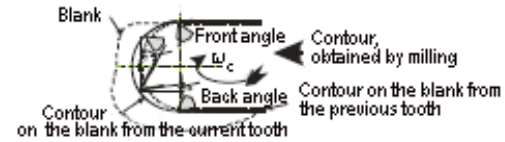
Fig. 4. Unevenness of the surface after processing at velocity 10000 min^{-1} and axial cutting depth 5.2 mm

For the unevenness of the processed surface has been plotted a section, similar to that made for the oscillations. The area of stability loss has also been well shown by the sections obtained.

Traditionally, abrasive mills are used at processing of rock materials, and the process of milling of stones is brought to grinding. In order to be used, the suggested model of natural oscillations analysis has to be adapted.



5.2) Cylindrical part at $z = D_{\text{cutter}}/2 \text{ctg } \varphi/2 + a_{p1}$



5.3) View A. Cylindrical part of the stone breaking

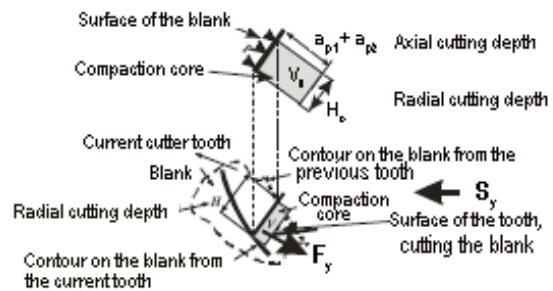


Fig. 5. Shank cutter at contour milling

Stone processing by milling according two or three coordinates is similar (analogous) to breaking out of the edge at presence of one or two free surfaces (Протачов Ю.И., 1995).

Under the influence of forces F_x , F_y and F_z , the tool breaks out layers- chips. The stone breaking consists in the following: for example, at the motion of the cutting edge along the axis Oy , the force F_y deforms a volume V_0 of the stone creating a compaction core (fig. 5.3). The forces F_x and F_z act respectively at motion along the axes Ox and Oz . The compaction core compresses in direction of the force action and expands in direction perpendicular to it, i.e. to the free surface, working against the reaction force P of the stone. At that a volume V of the stone is broken out. In connection with the shape forming three phases has to be considered:

1. Micromotion of the cutter along the axis $z = H_{\min}$. In this case, there is no milling, but the cutter operates as a gouge (fig.6)

In this case the cutter will drive in to depth H_{\min} (Протасов Ю.И. 1995) if

$$F_{z \min} = \frac{1,1 \sigma B k H_{\min}}{\mu b \eta} \quad (6)$$

View B. Conical part at contour micromilling

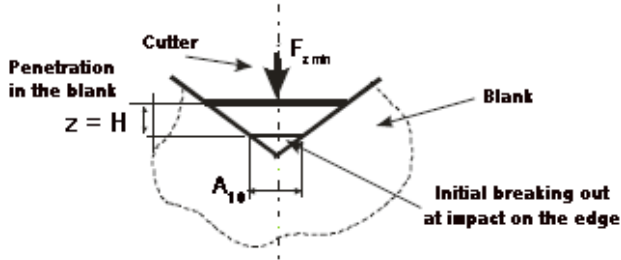


Fig. 6. Shank cutter at contour microcut-in

2. Millimotion of the cutter along the axis $z = H$ within the limits of the cutter conic end (fig.7). In this case the total force is a vector sum of $F_{z \min}$ and $F_{y \min}$. Then

$$F_{y \min} = \frac{\sigma B k H}{2 \mu b} \quad (7)$$

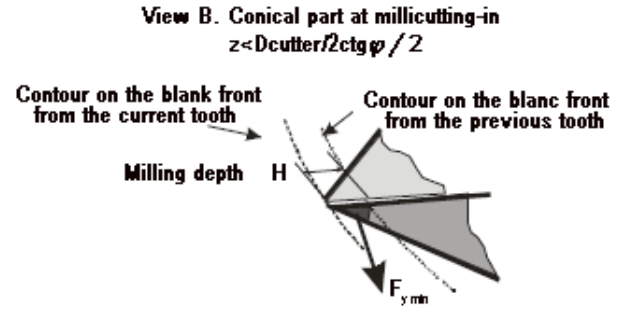


Fig. 7. Shank cutter at contour millicut-in

3. Operating motions of the cutter along the axis Oz within the limits of the cutter cylindrical end. (fig. 5.2, 5.3 and 8). In this case the total force is the vector sum $F_{z \min}$, $F_{y \min}$ and F_y .

View B. Conical part at working milling-in
 $z = D_{\text{cutter}} / 2 \text{ctg} \varphi / 2 + a_{p1}$

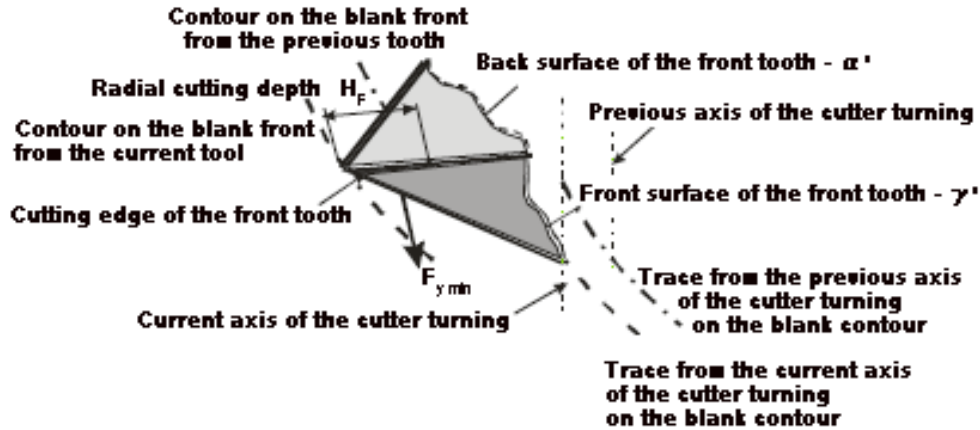


Fig. 8. Conical part of a shank cutter at a contour millicut-in

In (Протасов Ю.И., 1995) could be find the dependency of the cutting force along the axis y .

$$F_y = \frac{\sigma B k H}{\mu b}, \quad (8)$$

Where: σ – tensile strength limit of the rock $[N/m^2]$; B – length of the operational part of the tool cutting edge, axial cutting depth $[m]$; k – factor rendering an account of the boundary conditions of stone breaking and ductility; H – radial cutting depth $[m]$; μ – Poisson's ratio; b – factor of the shape of the breaking out stone volume. Taking as a basis

the general expression for the force $F_i = \frac{\sigma k A}{\mu b}$ in local co-

ordinates of the grain, a similar approach for description of the forces can be used for each grain separately. Here A – working area of the grain, similar to the product $B \cdot H$. Then the cutting forces influencing the instrument could be presented as:

$$F_x = \sum_N F_i \cos \varphi_i \quad (9)$$

$$F_y = \sum_N F_i \sin \varphi_i \quad (10)$$

where φ_i – angle of the inclination of the normal of the grain cutting platform to the immovable co-ordinate system; N – number of the examined grains. At summation by grains more appropriate is the probabilistic approach to be used, for example as it is suggested in (Rogelio L. Hecker, Igor M. Ramoneda and Steven Y. Liang, 2003).

At the adaptation of the model for computation of natural oscillations at every step of integration it is necessary the tool contact line (described as a circle) with the blank to be examined.

The suggested approach allows the area of beginning of the natural oscillations of the system technological parameters to be determined and the quality of the processed surface to be assessed. The method allows the character of the stability loss (the bifurcation type) to be disclosed. The frequencies of the beginning oscillations are determined by the results of computation, which is expedient to be used for identification of the areas of natural oscillations at experimental researches. The advantage of the numerical modeling is the fast adaptation to the required conditions. For example, it is possible the influence of hard inclusions in the rock material to be researched by determination of their distribution in the processed surface on accidental principle.

Recommended for publication of Editorial board

REFERENCES

Altintas Y. Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design, *Cambridge University Press*, 2000, p. 286.

Inspeger, T., Stepan, G. (2000). Stability of the milling process, *Periodica Polytechnica, Mechanical Engineering*, 44 (1), pp. 47-57. B. Balachandran, M.X. Zhao. A Mechanics Based Model for Study of Dynamics of Milling Operations, *Meccanica* 35, 2000, pp.89-109.

Гуськов А.М., Рыбин А.Г. Численный анализ динамики цилиндрического фрезерования. Проблемы динамики и прочности исполнительных механизмов и машин. *Материалы научной конференции. Астрахань, 2002г.*, с. 119-122

Миков И.Н., Рыбин А.Г., Мезенцева И.Л. Численное моделирование автоколебаний при обработке фрезерованием. *Горный Информационно-Аналитический Бюллетень*, М.: МГГУ, № 6, 2008.

Протасов Ю.И. Разрушение горных пород. М.: *Издательство МГГУ*, 1995. - 452 с.

Rogelio L. Hecker, Igor M. Ramoneda and Steven Y. Liang. Analysis of Wheel Topography and Grit Force for Grinding Process Model. *Transactions of NAMRI/SME*, Vol. 31, 2003.

INFLUENCE OF THE MACHINE ELASTIC SYSTEM AND THE TOOL WEAR OVER THE DEVIATION AT CONTOUR PROCESSING OF STONES

Mikov I. N.¹, Kozochkin M. P.², Stefanova N. N.³, Mezentzeva I. L.¹

¹ *Moscow State Mining University, Russia*

² *Experimental Scientific and Research Institute for metal working machines, Moscow, Russia³*

³ *University of Mining and Geology ST. IVAN RILSKI, Sofia, Bulgaria*

ABSTRACT. A fragment of a complex bas-relief is presented and the types of its shape, waviness and roughness deviations are shown.

The distribution of dimensions of the slime chip particle at stone cutting with sharp and blunt cutter and the roughness obtained at these cases are presented.

A stand for spectral analysis is processed. Results of superposition of the spectrum of marble cutting with a sharp and blunt tool and its natural frequencies along the axis Z are presented.

A dynamic analysis of the machine elastic system closed by the cutting process of marble is carried out (amplitude and phase frequency characteristics).

The oscillations of the tool point at turning of marble with rendering an account of the tool sharpness are shown.

ВЛИЯНИЕ НА ЕЛАСТИЧНАТА СИСТЕМА НА МАШИНАТА И ИЗНОСВАНЕТО НА ИНСТРУМЕНТА ВЪРХУ ОТКЛОНЕНИЯТА ОТ ФОРМА НА ПОВЪРХНОСТТА ПРИ КОНТУРНА ОБРАБОТКА НА СКАЛНИ МАТЕРИАЛИ

Миков И.Н.¹, Козочкин М.П.², Стефанова Н.Н.³, Мезенцева И.Л.¹

¹ *Московски държавен минен университет, Русия*

² *Експериментален научноизследователски институт за металорежещи машини, Москва, Русия*

³ *Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София*

РЕЗЮМЕ. Представен е фрагмент от съставен барелеф и са разгледани видовете отклонения от форма, вълнообразност и грапавост.

Третира се разпределението на размерите на частиците на стружката при рязане на скални материали с остър и тъп инструмент, и получаваната при тези случаи грапавост.

Разгледан е стенд за провеждане на спектрален анализ. Представени са резултатите от налагането на спектъра на процеса на рязане на мрамор с остър и тъп инструмент, и неговите собствени честоти по ос Z. Направен е динамичен анализ на еластичната система на машината, затворена от процес на рязане на мрамор (амплитудно-фазови честотни характеристики).

Показани са колебанията на върха на инструмента при струговане на мрамор, с отчитане на остротата на инструмента.

The volumetric images with complex profile on the surfaces of hard materials, including the bas-reliefs are wide used as architectural details, facing elements and at the manufacturing of interior articles as well. The use of different materials (several types of marble, for example) in a bas-relief, allows the article artistic expressiveness to be increased. At that, it has to be taken into account that the materials combined could considerably differ in their physical and mechanical properties and consequently, in degree of workability. As a rule, such composite bas-reliefs have fragments with complex front surfaces, constrained by curvilinear three-dimensional limits.

At the assembly, it is important the joint of these fragments to be provided, so the requirements to the shape accuracy of the fragments and the quality of their surfaces are of substantial significance.

Fig. 1 shows a fragment of composite bas-relief of general type (Миков И.Н., Мезенцева И.Л., 2008). The base of such a bas-relief is a plain. The lateral surface represents a sector of a straight cylinder, which generatrix is perpendicular to the plain xOy . The projection of the cylinder on the plain xOy has the profile (contour) of the bas-relief fragment on this co-ordinate

plain. The front surface of the bas-relief is the bearer of the artistic image. In the general case, the bas-relief front surface is constrained by a three-dimensional curve. At the bas-relief assembly, the joint surfaces are the base and the lateral surface. At that, of great importance is the lateral surface, which connects to the analogous surfaces of the adjoining bas-relief fragments. The difficulty consists in the connection of the three-dimensional curve, constraining the front surface of the bas-relief fragment, to the analogous curves of the adjoining fragments.

The types of deviations from shape, waviness and roughness, characterizing the bas-relief quality, are presented in fig. 2.

Nominal front surface, real front surface, respectively upper and lower positions of the points of the real front surface.

Deviation of the front surface of the bas-relief fragment is the distance Δ between the points of the real and the nominal front surface of the bas-relief fragment, measured along the normal to the nominal surface (fig. 3), (Радкевич Я.М., Схиртладзе А.Г., Лактионов Б.И.). The tolerance T of the front surface deviation consists of the sum of the tolerances T_H and T_L determining the location of the points of the real front surface,

respectively disposed upper and lower of these of the nominal front surface. If the values of T_H and T_L are determined to be constant for the whole front surface, the latter would be locked between two plains, which are equidistant to the nominal (fig. 3). The upper and the lower surfaces determine respectively the upper and the lower limits of tolerance. In case, when the plain tangent to the nominal front surface is insignificantly inclined to the plain xOy , it is possible the deviation to be measured by the difference of the z-coordinate of the points of the real and nominal front surfaces. But the error at such a measurement increases at growth of the angle of inclination of the tangent plain. The cutting of marble is at the expense of breaking down of small particles of the material.

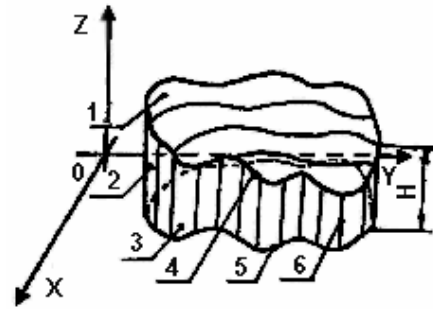


Fig. 1. Fragment of a composite bas-relief: 1 - front surface; 2 - lateral surface; 3 - basis; 4 - line constraining the front surface; 5 - profile on the plain xOy (line constraining the basis); 6 - generatrix of the lateral surface.

DEVIATION OF THE SURFACE OF THE BAS-RELIEF FROM THE SHAPE AND QUALITY			
Deviation of the surface of the bas-relief from shape		Quality of the fragment surface of the bas-relief	
a) deviations from shape of the front bas-relief surface	b) Deviation from shape of the lateral attaching surface	c) Deviation from shape of the horizontal blank surfaces	d1) Surface roughness
a1) deviations of the front surface	b1) Deviation from perpendicularity of the generatrix of the lateral surface	c1) Deviation from plain of the front blank surface	d2) Surface waviness along the direction of tool movement
	b2) Deviation of the profile in the plain xOy	c2) Deviation from parallelism of the front blank surface	d3) microroughness of the front surface, connected with the step of processing
	b3) Deviation of the line restricting the front surface	c3) Summary deviation from plain and parallelism of the front blank surface	

Fig. 2. Types of deviations from shape, waviness and roughness of the bas-relief sfragment.

At research of the particles obtained at turning with sharp and blunt cutter, a conclusion could be made about the connection of their size and the tool wear. The sharp cutter provides slime chip (cracked) with particles 1-3 μm and the blunt – with 6-12 μm . The quantity of the larger fraction in the whole mass of chips is bigger at operation with blunt cutter. The distribution of the size of the particles, formed in the cutting process with sharp and blunt tool is shown in fig. 4.

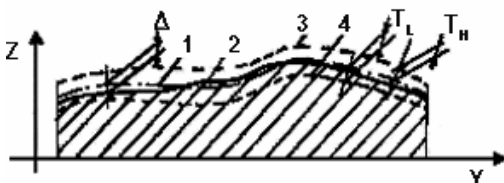


Fig. 3. Deviation of the front surface according to the equidistant: 1 - nominal front surface; 2 - real face surface; 3 and 4 - respectively the upper and lower positions of the points of the real front surface.

The cutter wear brings to growth of the cutting force. The oscillating processes in this case are more intensive, which causes increase in roughness and deviation from the specified profile. The data obtained at research in the slam chip and the processed surface, according to their connection with the wear is presented in Table 1.

The statistics of the roughness of marble blank surfaces, obtained after turning with a sharp tool, tool with off-taken edges and blunt tool, at $t=1\text{mm}$, $n=400\text{min}^{-1}$, $s=0,12\text{ m/min}$

and material of the tool - hard alloy plate - are presented in fig. 5, Table 2 and fig. 6.

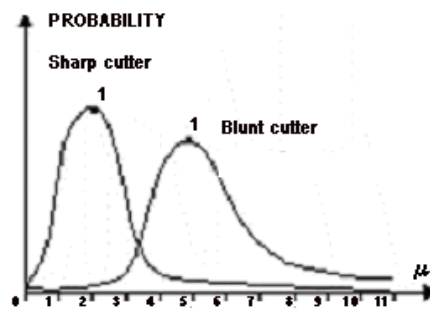


Fig. 4. Distribution of the size of the particles for a sharp and blunt tool.

Fig. 6 shows examples of profilogrammes of marble detail after turning with hard alloy tool, according to the fig. 5. It could be seen that the wear influences negatively the quality of the surface, increasing its roughness.

The cutting process of brittle materials, for example cutting of marble (fig.7) is accompanied by the variable and steady components of the cutting force (Козочкин М. П., 2005). The reason for the origin of the variable component of the cutting force in this case is the fact that, as it has been already mentioned, the cutting of brittle materials (for example marble) is at the expense of breaking down of the material small particles.

Table 1. Chip and roughness of the surface.

	Dimond-abrasive processing		Sharp cutter		Blunt cutter	
	Marble	Granite	Marble	Granite	Marble	Granite
Dimensions and shape of the chip, mm	-	-	1-3	6-12	4-6	6-12
Roughness R_a , μm	2,91 average value	3,71 average value	1-6	No data	> 8	>4

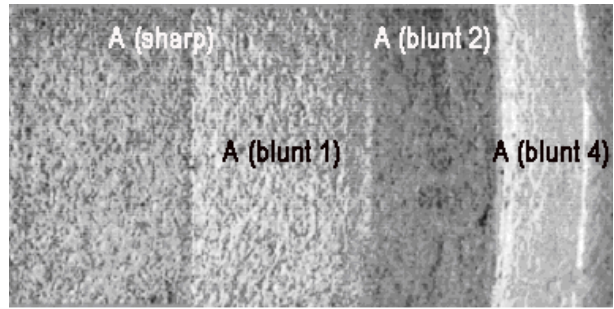


Fig. 5. Surface of a marble blank after processing with a sharp tool, tool with off-taken edges and blunt tool.

Table 2. Results from measuring of the surface.

R_a , μm	Plate condition
$R_{a\text{ cp}} = 5,82 \mu\text{m}$	Sharp A
$R_{a\text{ cp}} = 6,75 \mu\text{m}$	With off-taken edges A1
$R_{a\text{ cp}} = 6,78 \mu\text{m}$	With off-taken edges A2
> 10	Worn A3

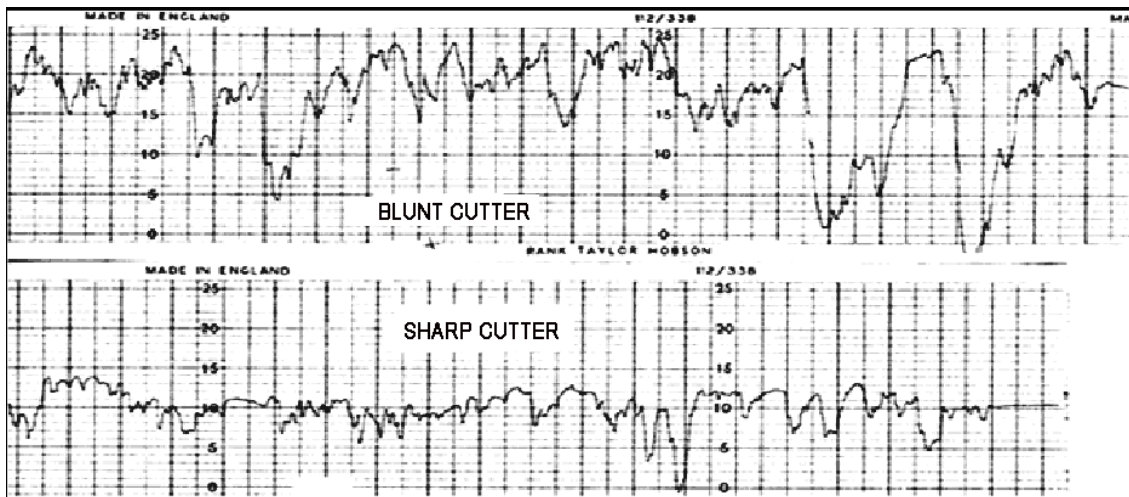


Fig. 6. Examples of profilogrammes of marble processed surfaces.

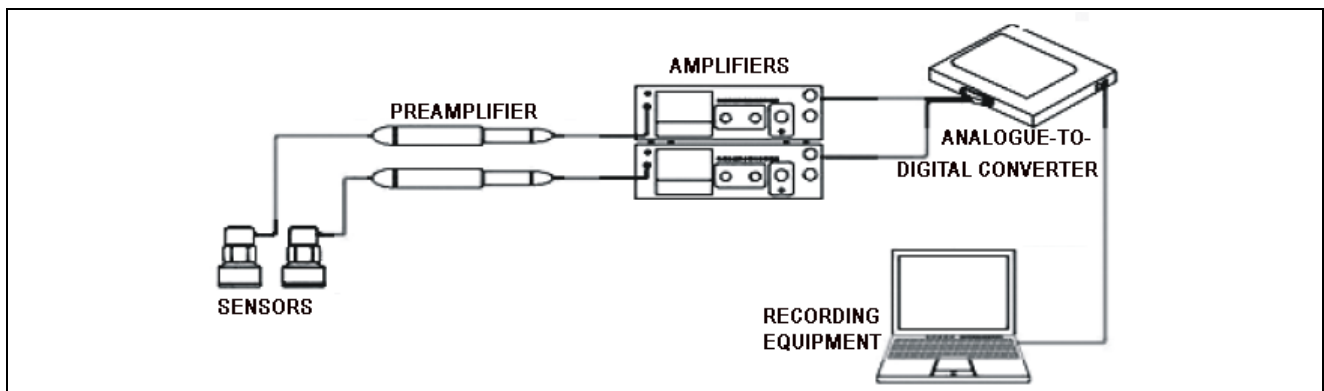


Fig. 7. Stand for brittle material turning and record of the vibrosignal.

An example of the acceleration spectrum, registered on the tool holder at the marble turning is presented in fig. 8. Fig. 9 shows an example of the spectrum, obtained in full accordance with the conditions of fig. 8 but at turning with blunt tool. The comparison shows that the wear has not only changed the amplitudes of different frequencies, but has altered the ratio as well: the amplitudes of high frequencies have decreased, while those of the low frequencies have increased.

While for a sharp tool the ratio of amplitude of frequency about 10Hz to the amplitude of frequency close to 10 KHz is about

0,12, for a blunt tool the ratio is 0,94, i. e. has increased almost 8 times. The change of this ratio to a great extent depends on the dynamic characteristics of the elastic system of the used turning machine. At high dynamic rigidity of the machine and the tool, this ratio could alter not so significantly but the experiments show that the decrease in amplitude of the high frequency component of the vibration signal, according to the wear of the cutting edge at marble processing displays normally.

Acceleration amplitude, m/s^2
 $A_{max} = 17,2 m/s^2$

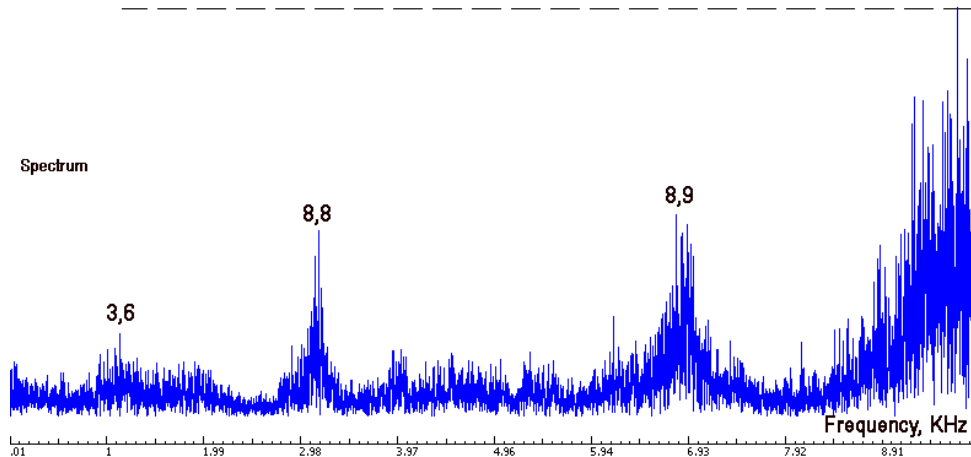


Fig. 8. Spectrum of the vibroacceleration at turning of marble with a sharp cutter.

Acceleration amplitude, m/s^2
 $A_{max} = 7,9 m/s^2$

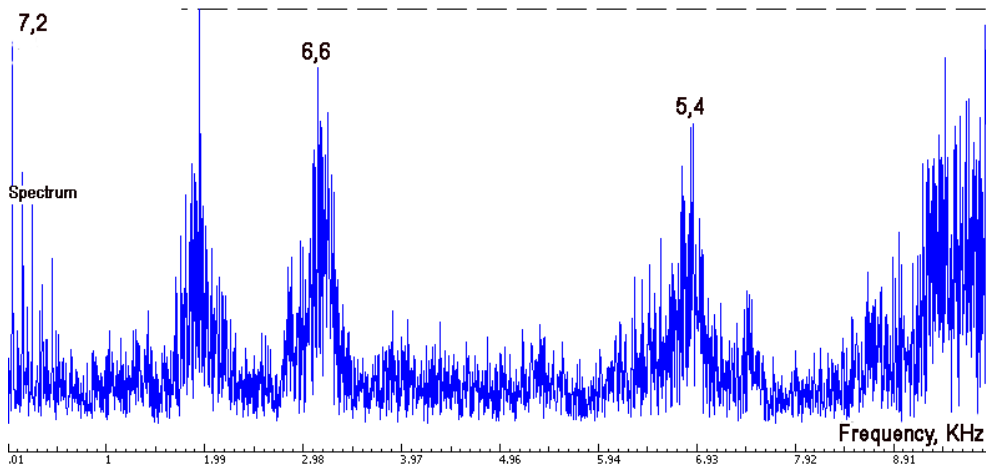


Fig. 9. Spectrum of the vibroacceleration at turning of marble with a blunt tool.

Let examine the summary of oscillating movements of the cutter point, which are consequences of its oscillations along the axes and bring to deviations of the surface shape (roughness).

The co-ordinate connection reveals as follows: in general case under the influence of the force applied, the cutter point strives to move not only in the direction of the cutting force, but also in orthogonal direction. It happens because of the tool unit different rigidity in the different directions, i. e. main axes of rigidity ξ_1 and ξ_2 exist, which usually do not coincide with the co-ordinate axes Z and X of the machine (Кудинов В. А., 1967).

Fig. 10 shows the amplitude-frequency and phase-frequency characteristic of a turning machine along the axis Z, at application of impact force along the axis Z, according fig. 7. If an impact force is applied along the axis X, as well as at the first example a movement is observed along the axis Z and its frequency characteristics are presented in fig. 11.

This way, the joint movements of the cutter point along the axes Z and X appear even in case when the force action is

directed along one axis, which brings not only to deviation of dimensions, but also to deviation of the surface quality.

The trajectory of the cutter point movement in octave 1000 Hz at operation with a sharp cutter is shown in fig. 12 and with a blunt cutter in fig. 13.

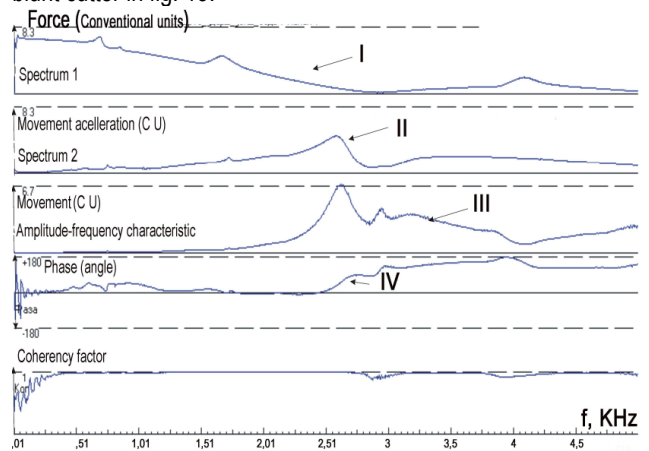


Fig. 10. Amplitude-frequency and phase-frequency characteristics of a turning machine along the axis Z, at application of impact force along the axis Z, according fig. 7. I - Impact spectrum (excitation, input signal) ; II - Movement spectrum (oscillations; output signal, reaction to the excitation) ; III - amplitude-frequency characteristic of the machine elastic system; IV - phase-frequency characteristic of the machine elastic system.

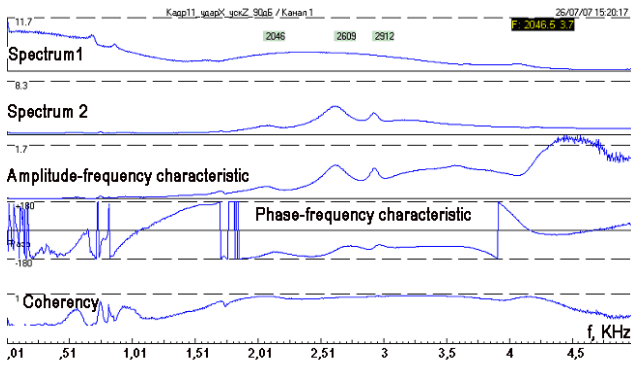


Fig. 11. Amplitude-frequency and phase-frequency characteristics of a turning machine along the axis Z, at application of impact force along the axis X, according fig. 7.

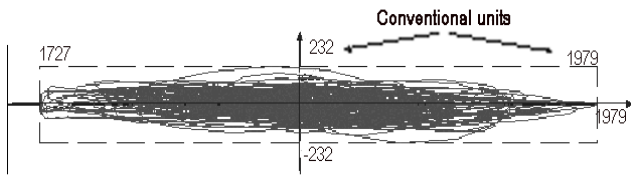


Fig. 12. Trajectory of the cutter point movement in octave 1000 Hz at operation with a sharp cutter.

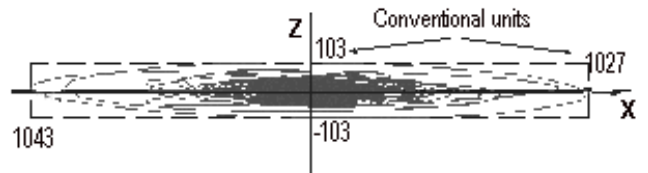


Fig. 13. Trajectory of the cutter point movement in octave 1000 Hz at operation with a blunt cutter.

It could be seen that the lack of chip provokes big deviations along the normal to the surface depreciating its roughness.

The units along the axes are conventional, because the ratio of amplitudes is important in this case.

It could be seen that the oscillations along the normal predominate over the tangential. Such a type of trajectory is typical of operation with a sharp and blunt tool. At the contour processing, this brings to worsening of the anyway unfavorable conditions.

The spectrums of the cutter natural frequencies along the axes Z and X at vertical impacts on the cutter point, are presented in figures 14 and 15. These spectrums are connected both to the blunt and sharp cutter.

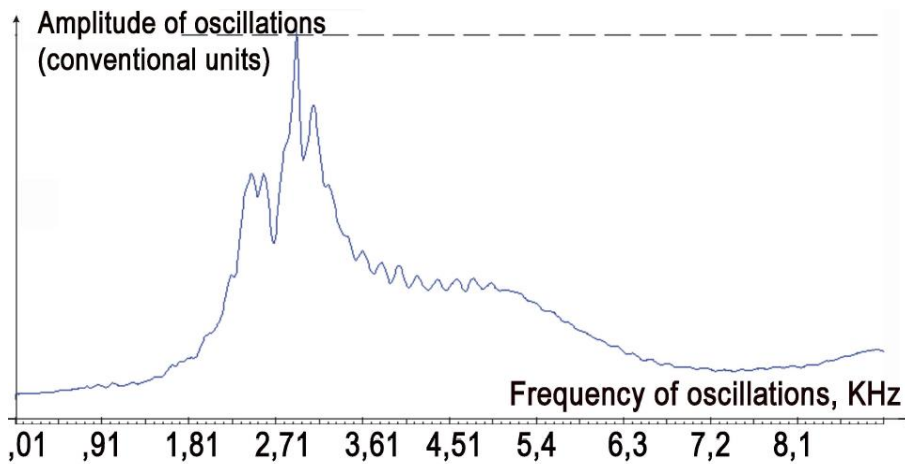


Fig. 14. Spectrum of the cutter natural frequencies along the axis Z at vertical impacts on the cutter point

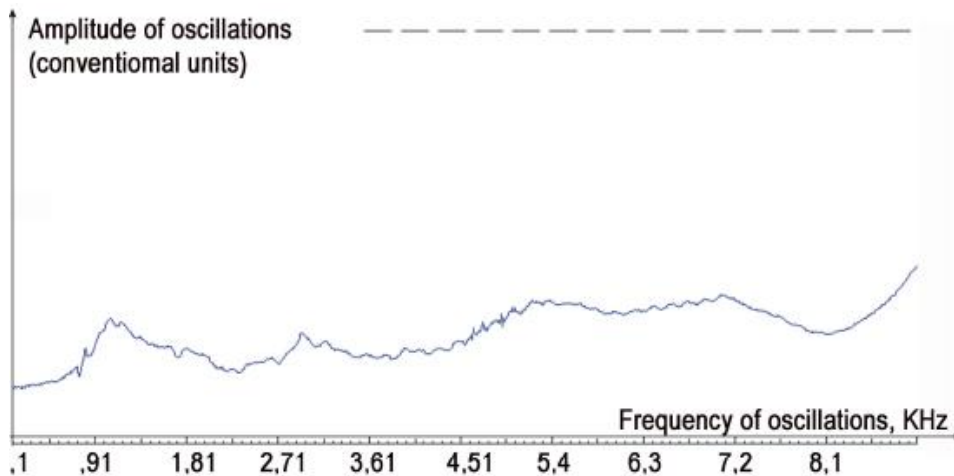


Fig. 15. Spectrum of the cutter natural frequencies along the axis X at vertical impacts on the cutter point.

From these figures follows that at determination of technological regimes influencing the frequency of the variable component of the cutting force, it has to be taken into account that this component coincidence with one of the tool natural frequencies will bring to increase in forced oscillations and respectively to deviation of the surface shape.

REFERENCES

Козочкин М. П. 2005 . Виброакустическая диагностика технологических процессов. – М.: ИКФ «Каталог». р.196.

Кудинов В. А. 1967. *Динамика станков*. – М: Машиностроение. р. 359.

Миков И.Н., Мезенцева И.Л. 2008 Погрешности при обработке сопрягаемых барельефных поверхностей на станках с ЧПУ. *Горный Информационно-Аналитический Бюллетень*, М.: МГГУ, № 8 .

Радкевич Я.М., Схиртладзе А.Г., Лактионов Б.И. Метрология, стандартизация и сертификация. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2003. – 788 с.

Recommended for publication of Editorial board

MATHEMATICAL MODELING AND MODAL ANALYSIS OF THE TWO DRUM DRIVER SYSTEM FOR BELT CONVEYORS

Tsvetan Damyanov¹, Lachezar Lazov², Petko Nedyalkov²

¹ UMG "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; e-mail: zld47@mgu.bg

² Technical University – Sofia, Mechanical Engineering Faculty, 1756 Sofia; e-mail: lcho@mail.bg, nedpetko@tu-sofia.bg

ABSTRACT. In this work are theoretically analyzed the processes which can produce vibration phenomena in forming process of the traction force between the drum driver and belt into the two drum driven belt conveyors. There are defined the natural frequencies and conclusions about potentiality resonances into the driver system in different working regimes.

МАТЕМАТИЧЕН МОДЕЛ И МОДАЛЕН АНАЛИЗ НА ДВУБАРАБАННА ЗАДВИЖВАЩА СИСТЕМА ЗА ЛЕНТОВИ ТРАНСПОРТЪОРИ

Цветан Дамянов¹, Лъчезар Лазов², Петко Недялков²

¹ МГУ "Св. Иван Рилски", 1700 София; e-mail: zld47@mgu.bg

² Технически Университет – София, Машиностроителен Факултет, 1756 София; e-mail: lcho@mail.bg, nedpetko@tu-sofia.bg

РЕЗЮМЕ. Извършен е теоретичен анализ на процесите, които пораждаат колебателни явления при формиране на теглителна сила между задвижващите барабани и лентовото платно в двубарабанните задвижващи системи на лентовите транспортъори. Определени са собствените честоти и са направени изводи относно възможностите за резонанс в системата на задвижване при различни работни режими.

1. Preface

As it is known the rubber - belt conveyor transport systems with two – drum driver stations are one of the most powerful and high – productivity machines with continuous production in the mining industry. Working together with mining machines such like bucket – wheel excavators gave the possibility to realize high – productivity mining technologies in open coal mining. That is why the work on improvement of their exploitation - technical parameters and power consumption decreasing is high significant.

2. Problem status

Fig. 1 shows the two – driver leading group for one of the leading drums working together with steel rope armored rubber – belt type St 3150 in RBT (Rubber – Belt Transporter) 2250, which are exoptated in open coal mines Mini Maritca Iztok EAD. This construction characterizes by the console pendulum mountings of the driver – transmissions groups (2X1000 kWt) on the both ends of shaft – 1. From previous FEM analyses of the deformations and stresses under staticial loading of this type shaft (Дамянов 2007) is known that it is subjected to the significant cyclic bending deformations with cycle frequency "f_b" about 1 Hz.

The other side of the problem is that often in exploitation are leading stations with some misalignment in mounting of the gear reducers to the leading drum shaft. Unsuitable combination of these constructive – technically factors is the

reason to provoking the cyclic loadings in all of the working regimes of the conveyor elements.

The aim of this research is to establish the risks of inducing resonant regimes in belt conveyor leading system.

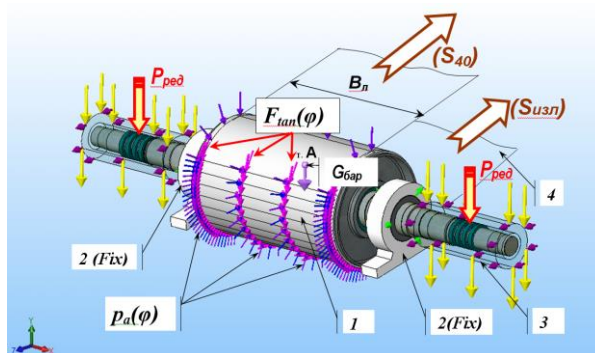


Fig. 1 Two – sided leading drum from RBT 2250, Mini Maritca Iztok EAD -- 1-leading drum; 2- bearing supports; 3-pendulum – mounted gear reducers; 4 – belt

3. Modeling and simulation of the two – drum belt conveyor leading station.

This type of the researched object is chosen through its wide spreading and importance in two – drum leaded rubber belt conveyors, uppermost used in Mini Maritca Iztok EAD

transporting systems. The exploitation expenses relative to extracted and transported material unit in these systems are significantly great than these for the bucket – wheel excavators. That's why the improvement in exploitation security of the RBT is with substantial importance. One way to achieve this is decreasing value of mechanical loadings in the system elements, subjected to the high statical and also to the high dynamical loads. Part of these loading is taken by the vibration loading and circumstances to induce resonant effects leading to unallowable high values of stresses in the belt conveyor components.

Main problem of this research is frequency analysis of modeled two-drum mechanical leading system shown in fig.2

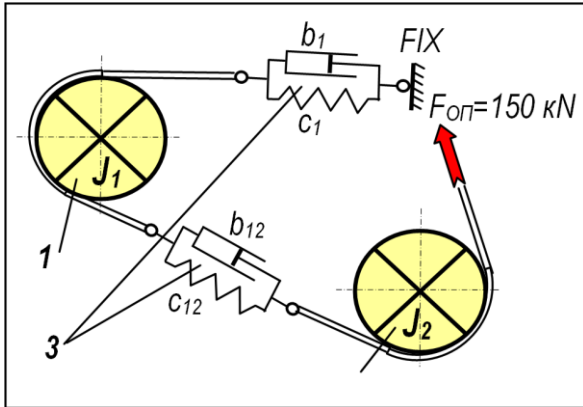


Fig. 2 Dynamical model of two – drum leading system with two degrees of freedom, where:

- 1 – first leading drum;
- 2 – second leading drum;
- 3 – elastic – damper units.

There will be considered two typically realizable starting cases for this system

3.1. Two mass model with two degrees of freedom

Shown on fig. 2 the reduced two – mass model represents mechanical system containing rotational moving mass elements with point masses and referred to leading drums (1 and 2) axes inertial moments (J_1 and J_2) connected through elastic – damper connection (3).

This model characteristics cases which starting of the system is by the simultaneously switching both of the leading drum groups. The model loadings contain both of leading groups load. In this case:

- Kinetic energy of the system is:

$$T = \frac{1}{2} \left[J_1 \cdot \dot{\varphi}_1^2 + J_2 \cdot \dot{\varphi}_2^2 \right]; \quad (1)$$

- Potential energy of the system is:

$$\Pi = \frac{1}{2} \left[c_1 \cdot (\varphi_1 \cdot R_1)^2 + c_{12} \cdot (\varphi_1 \cdot R_1 - \varphi_2 \cdot R_2)^2 \right] \quad (2)$$

- Dissipative energy of the system is:

$$B = \frac{1}{2} \left[b_1 \cdot (\dot{\varphi}_1 \cdot R_1)^2 + b_{12} \cdot (\dot{\varphi}_1 \cdot R_1 - \dot{\varphi}_2 \cdot R_2)^2 \right]. \quad (3)$$

Considering using LaGrange differential equations from following form:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \frac{\partial B}{\partial \dot{q}_i} = Q_i \quad (4)$$

Differential equations describing the system's dynamics are:

$$\begin{cases} J_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 + c_1 \cdot \varphi_1 \cdot R_1^2 + c_{12} \cdot R_1 \cdot (\varphi_1 \cdot R_1 - \varphi_2 \cdot R_2) + \\ + b_1 \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot R_1^2 + b_{12} \cdot R_1 \cdot (\dot{\varphi}_1 \cdot R_1 - \dot{\varphi}_2 \cdot R_2) = 0 \\ J_2 \cdot \ddot{\varphi}_2 - c_{12} \cdot R_2 \cdot (\varphi_1 \cdot R_1 - \varphi_2 \cdot R_2) - b_{12} \cdot R_2 \cdot (\dot{\varphi}_1 \cdot R_1 - \dot{\varphi}_2 \cdot R_2) = F_{on} \cdot R_2 \end{cases} \quad (5)$$

Following this logic it is easy to determine the elements of the stiffness matrix by potential energy twice differentiation:

$$C_{i,j} = \frac{\partial^2 \Pi}{\partial q_i \cdot \partial q_j}, \quad (6)$$

which leads to stiffness matrix:

$$C = \begin{vmatrix} R_1^2 \cdot (c_1 + c_{12}) & -c_{12} \cdot R_1 \cdot R_2 \\ -c_{12} \cdot R_1 \cdot R_2 & c_{12} \cdot R_2^2 \end{vmatrix} \quad (7)$$

Analogically it is possible to determine damper coefficients matrix:

$$B = \begin{vmatrix} R_1^2 \cdot (b_1 + b_{12}) & -b_{12} \cdot R_1 \cdot R_2 \\ -b_{12} \cdot R_1 \cdot R_2 & b_{12} \cdot R_2^2 \end{vmatrix} \quad (8)$$

and mass elements matrix:

$$M = \begin{vmatrix} J_1 & 0 \\ 0 & J_2 \end{vmatrix}, \quad (9)$$

The values of mass inertial moments of the leading drums with corresponding to them reduced point masses of the belt and burden are: $J_1 = 98953 \text{ [kg.m}^2\text{]}; J_2 = 29356 \text{ [kg.m}^2\text{]}$

Stiffness of the belt depends on the length of the interested section. For transporter belts with steel rope armors similar to type St 3150 is accepted resulting stiffness to be equal to the steel wire stiffness and neglecting stiffness of the rubber material.

Parameters of RBT belt type St 3150 are:

Number of the steel ropes – $n = 146$;

Steel rope diameter – $d = 8 \text{ mm}$;

Steel rope section area – $A = \pi \cdot d^2 / 4 = 5,03 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$;

Elasticity modulus value for steel used in the armoring ropes: $E_M = 2 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$;

Considering ropes section to be continuous the used elasticity modulus is need to be reduced in: – $E = 5 E_M / 8 = 1,25 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$; (Спиваковский, 1982 Шахмейстер, 1978)

Length of the first section is – $L_1 = 246 \text{ m}$, of the second is – $L_{12} = 20 \text{ m}$.

In this case the length of the first section is 1/6 from the full length of burden carrying line (de'Silva 2001), and the length of the second section is equal to the full length between the two leading drums.

In these conditions the stiffness of the belt is calculated by the following:

$$c_1 = \frac{n \cdot A \cdot E}{L_1} = 3,729 \cdot 10^6 \frac{N}{m} \quad (10)$$

$$c_{12} = \frac{n \cdot A \cdot E}{L_{12}} = 4,5867 \cdot 10^7 \frac{N}{m}$$

Damper coefficients b_1 and b_2 are accepted to be 0,5% from the c_1 and c_2 (according to de'Silva 2001) and are calculated to be:

$$b_1 = 1,8645 \cdot 10^4 \frac{N \cdot s}{m} \quad (11)$$

$$b_{12} = 2,2934 \cdot 10^5 \frac{N \cdot s}{m}$$

Defining amplitude – phase matrix in the following view:

$$W = [C - \omega^2 \cdot M + i \cdot \omega \cdot B]^{-1} \quad (12)$$

and using *Matlab* to calculate the natural frequencies for the system: $f_1 = 0,6850$ [Hz] and $f_2 = 5,7454$ [Hz]; also *Matlab* gave the view of the amplitude – frequency characteristic shown on fig. 4.

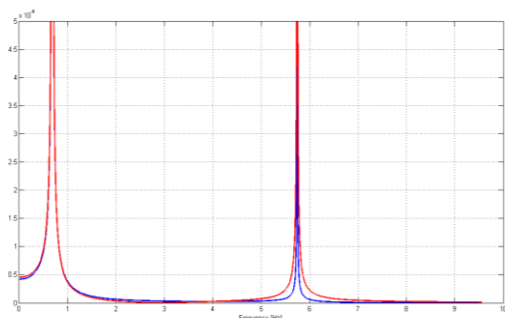


Fig. 3 Amplitude – frequency characteristic of two - drum driven system - $f_1 = 0,69$ u $f_2 = 5,74$

These results are confirmed with FFT spectrum analysis – shown on fig. 5. – of the elastic force – shown on fig. 4 – witch is produced between the leading drums when rising difference between their angular velocities (Дамянов, Лазов, Недялков 2007).

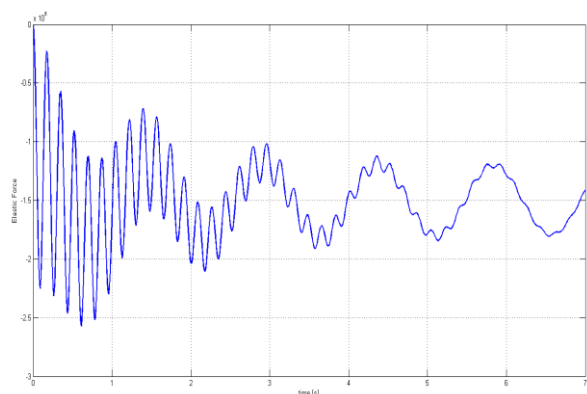


Fig. 4. Diagram of elastic force between the leading drums using two – mass dynamical model.

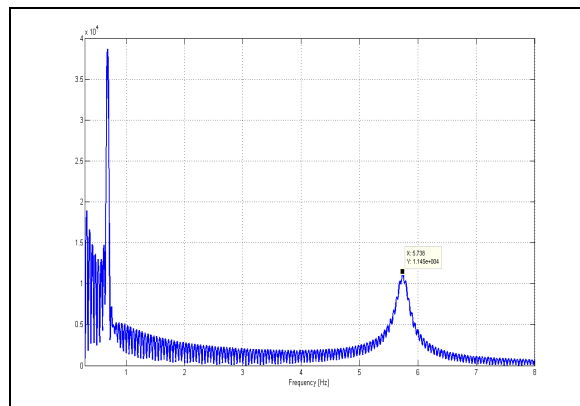


Fig. 5. Amplitude spectrum of the elastic force between the leading drums

3.2. Dynamical model with single degree of freedom

This part of the research deals with dynamical model of the same double drum driving station but when is switched on brake of the first driving drum. This case represent the real situation for the switching process with overtaken (2 seconds) switching of the second drum before switching the first drum. Using this control function of the driving electrical engines ensures always the needed value of the tension force in the belt witch is precondition for forming sufficient tractive force for the starting process (Дамянов 2007).

The scheme of dynamical model with single degree of freedom is shown on fig. 6. Moving elements are – second leading drum and belt unit between first and second drum.

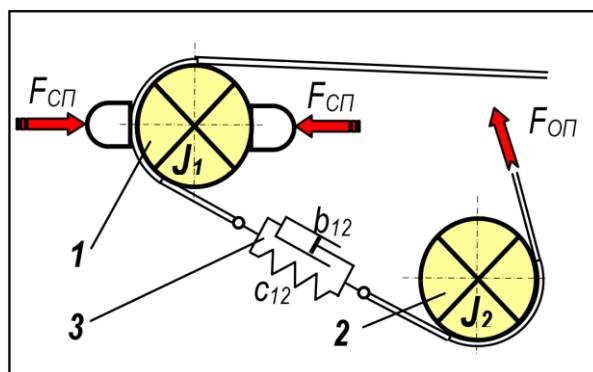


Fig. 6. Dynamical model of the double – drum driving system with single degree of freedom

Differential equation of motion is:

$$J_2 \cdot \ddot{\varphi}_2 - c \cdot R_2^2 \cdot \varphi_2 - b \cdot R_2^2 \cdot \dot{\varphi}_2 = F_{on} \cdot R_2 \quad (13)$$

$$\ddot{\varphi}_2 - \frac{c \cdot R_2^2}{J_2} \cdot \varphi_2 - \frac{b \cdot R_2^2}{J_2} \cdot \dot{\varphi}_2 = \frac{F_{on} \cdot R_2}{J_2}$$

$$\ddot{\varphi}_2 - 2 \cdot n \cdot \dot{\varphi}_2 - \omega^2 \cdot \varphi_2 = \frac{F_{on} \cdot R_2}{J_2}$$

where:

$$\omega^2 = \frac{c \cdot R_2^2}{J_2}; \quad n = \frac{b \cdot R_2^2}{2 \cdot J_2}; \quad (14)$$

$$\xi = \frac{n}{\omega} \text{ - relative damping;}$$

$J_2 = 29356 \text{ [kg.m}^2\text{]}$ – reduced mass inertial moment with added belt mass.

Here is accepted greater value of relative damping factor ξ - 10%. Reasons to accept greater values for this factor are – using the maximal value of relative damping that will not change significant natural frequencies of the system (cause small influence over the natural oscillations of the system); - the value of this factor is not well known; - to permit experimental verification of model.

$$\omega_d = \sqrt{1 - \xi^2} \cdot \omega = 0,99 \cdot \omega \quad (15)$$

The values for stiffness of the belt are the same like two – degree of freedom model – n , A и E but with different value for $L_2=20 \text{ m}$, result is – $c_{12} = 4,5867 \cdot 10^7 \text{ [N/m]}$. Drum radius is the same – $R_2=0,8 \text{ [m]}$.

Hence the natural angular frequency is – $\omega = 31,622 \text{ rad/s}$ and the cycle frequency is – $f = \omega / 2\pi = 5,0346 \text{ Hz}$. In this case the frequency witch can cause resonant phenomena is only one.

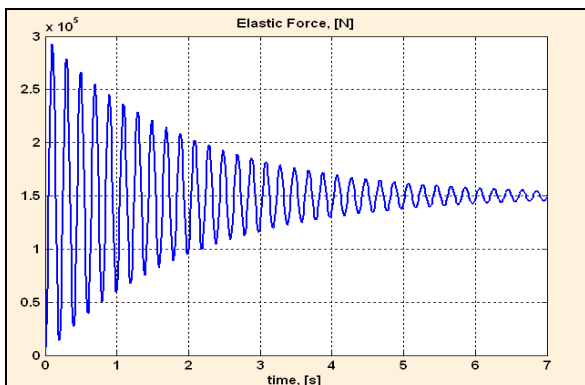


Fig. 7 Diagram of elastic force between the leading drums using single – degree of freedom model.

4. Conclusions

The upper results afford to draw general conclusions:

4.1 – Quantity appraisal of the results relates only for RBT 2250 from Mine 1 in Mini Maritca Iztok EAD and the quality appraisal relates for all RBT systems with double – drum driving and overtaken switching of the second drum.

4.2 – Model with single degree of freedom characterizes a brief starting part (2 to 3 seconds), in which oscillation processes envelop only second drum and belt unit with length 20 m – between two leading drums. In this case the circumstances for resonance are lacking because of high natural frequency – $f_1 = 5.0346 \text{ [Hz]}$ and is greater than working frequency in steady state regime $f_b = 1,17 \text{ [Hz]}$

4.3 – In system represented with two – mass model there are preconditions for stimulation of resonance when leveling the first natural frequency $f_{r1} = 0,6850 \text{ [Hz]}$ and variable working frequency – $f_b = \text{var} (0 \text{ to } 1,17 \text{ Hz})$;

4.4 – Resonance phenomena which can cause linear oscillations are unacceptable because of the following reasons:

- Pulsing tension force – tension force in the belt start pulsing in the first drum outgoing section which decrease it's traction limit and increase preconditions for skidding;
- Additional pulsing loads – additional pulsing changes of the tension force in this section increase general loading acting at all mechanical elements of driver system – bearings, welding construction of the drum driver, drum shaft and etc.

Knowledge about and decreasing of vibrational loadings in powerful multi – driver leading stations of rubber – belt conveyors is important technical – exploitation problem. By this analysis and conclusions about existing possibilities for creation of low frequency resonance oscillations with high amplitude of tension force in the belt and all connected mechanical elements are shown the importance of researched problem and work about minimization of unfavorable effects about exploitation security and power consumption should follow the next generalities:

- Précising dynamical model according to constructive – technical parameters of the system for starting and stationary regime;
- Research about influence of tension force over frequency parameters of the system;
- Optimization of the control function of tension system;
- Organize the comparison experimental research and validation of the results;

References

1. Clarence W. de Silva, Vibration Fundamentals and Practice, CRC Press, Washington, 2001
2. Дамянов Ц., П. Неद्याлков, Л. Лазов. 2007. Специални приложения на тензометрията за нискофректна вибродиагностика в областта на минната техника. Год. МГУ „Св. Ив. Рилски“. т 50. Свितък III. 51-54.
3. Спиваковский, А.О. и др. Теория ленточных конвейеров, М. Наука., 1982
4. Шахмейстер, Л.Г. и др. Теория и расчет ленточных конвейеров, М. Машиностроение, 1978
5. Дамянов, Цв. Л. и др. Промислени експериментални изследвания на лентовите транспортни системи (3x560 квт и широчина B = 1800 мм) в рудниците на "Мини Марица-изток" ЕАД – Договор 1853/2004 при НИС на МГУ, Архив на НИС на МГУ., 2005
6. Дамянов Цв. Л. и др. "Експериментално изследване и анализ на технико – експлоатационното състояние на ГТЛ 2250 №2 на рудник „Трояново -1“ (чешка система) за условията на „Мини Марица Изток“ ЕАД"- Договор 1905/2007 при НИС на МГУ, Архив на НИС на МГУ., 2007
7. Дамянов Цв. Л. и др., „Тридимензионно, моделиране, изследване и анализ с метода на крайните елементи на якостно-деформационното състояние на задвижващите барабани от станциите на ГТЛ 2250 за условията на "Мини Марица-изток" ЕАД" – Договор 1917/2007 при НИС на МГУ, Архив на НИС на МГУ., 2007г.

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

ТЕОРЕТИКО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЕН СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА ФУНКЦИОНАЛНАТА ЗАВИСИМОСТ МЕЖДУ ПАРАМЕТРИТЕ НА ЗАТИХВАЩИТЕ ТРЕПТЕНИЯ В МЕХАНИЧНИ СИСТЕМИ

Цветан Дамянов¹, Евгени Костадинов²

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

² Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, e-mail: e_kostadinov@yahoo.com

РЕЗЮМЕ. На базата на съществуващите теоретични разработки е създадена методика за лабораторно експериментално изследване с цел уточняване на зависимостите между честотните параметри и демпфиращите свойства на механични обекти. Получените аналитични и експериментални резултати са обобщени, извършен е анализ и са установени границите на практическа приложимост за подобряване на динамичното вибрационно натоварване при работа на механични системи.

THEORETICAL, EXPERIMENTAL AND COMPARATIVE ANALYSIS OF THE FUNCTIONAL DEPENDENCE BETWEEN THE PARAMETERS OF THE DAMPING VIBRATIONS IN MECHANICAL SYSTEMS

Tsvetan Damyanov¹, Evgeni Kostadinov²

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

² University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: e_kostadinov@yahoo.com

ABSTRACT. Based on the existing theoretical works there are methods created for laboratory and experimental research with the goal of specifying the dependence between the frequency parameters and damping characteristics of mechanical objects. The received analytical and experimental results are generalized and analyzed and limitations of the practical applicability are established for improvement of the dynamic vibration loading when working with mechanical systems.

1. Увод

Експерименталното изследване на вибрационното натоварване на механичните системи в реални работни условия е процес с голяма приложна практическа значимост. Една от главните задачи в този случай е уточняването на получените по теоретичен път резултати за функциите на кинематичните величини и на силите, които възникват вследствие на тези неблагоприятни за експлоатационната сигурност на системата работни режими. Методиката за провеждане на такива изследвания се основава върху измерване на времевите функции на кинематичните параметри (най-често на ускорението) в характерни точки от обекта. Съществуват случаи, при които монтирането на акселерометрични датчици в измерителните точки е практически невъзможно и тогава се налага използването на аналитични методи за изчисляване на тези величини. За тази цел е необходимо да се познават стойностите на коефициентите на коравината и демпфиране за дадената конструкция на обекта при съответната степен на свобода (DOF). В много случаи експерименталното определяне и на тези параметри не е възможно, поради което е възникнала необходимост от теоретично изследване и намиране на аналитични методи за тяхното определяне.

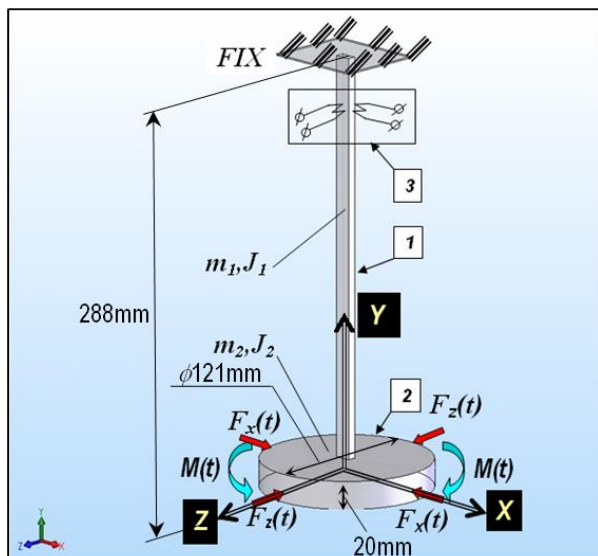
2. Научно-теоретични предпоставки

От извършения преглед на научни публикации в направлението бе установено, че най-задълбочено и с много голяма приложна насоченост е работата на (I Jiosan, 2003). В нея авторът е извел и доказал аналитични зависимости между коефициентите на демпфиране ξ и резонансните честоти ω на системата, на базата на което предлага аналитичен метод за определяне на демпфирането и коравината при други гранични условия (DOF) за обекта на изследване. По този начин, ако се познават еластично-демпферните параметри при две резонансни честоти на дадена механична конструкция могат да се получат тези параметри и за друга такава честота, за която същите са неизвестни и не могат да се измерят експериментално. Главната цел на тази научна работа е извършването на сравнителен анализ и оценка на точността и областта на приложение на метода на (Indrajit Chowdhury, 2003), основаващи се на теоретико-експериментално изследване на физически и механо-математичен компютърен модел.

3. Опитна постановка и методика на експеримента и резултати

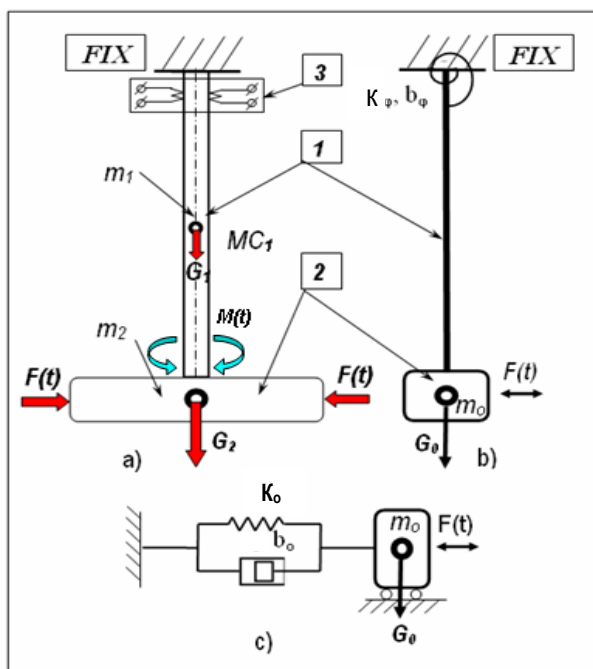
За целите на експеримента бе създаден едномасов модел с такава конструкция, която позволява да се получат резонансни честоти и деформационни форми на огъване в

две от основните равнини на правоъгълна К.С. и една на усукване около една от осите на същата К.С.



Фиг.1

На Фиг.1 е показан CAD модел на конзолно свързана съсредоточена маса (поз.2) и (поз.1), която е фиксирана (DOF=0) в горния край на шината (2). Измерването се извършва чрез тензо мостова система (поз.3). Добре се вижда както ориентацията спрямо К.С. така също и разположението на силите и момента, чрез които се възбужда принуденото смущаващо въздействие.



Фиг.2

По този начин могат да бъдат измерени затихващи колебания в равнините XY и YZ, както и торсионни колебания около оста Y. На фиг.2а, 2б и 2с е представен заместващият приведен едномасов модел, който е изграден съгласно метода за привеждане на масовите параметри по (Бидерман, 1972).

Получените резултати от експерименталното изследване на така уточнения модел ще бъдат

използвани за извършване на сравнителен анализ и оценка на аналитичния метод на (Indrajit Chowdhury, 2003).

Изборът на масовите и геометрични параметри на изследвания обект е извършен целесъобразно и позволява интересувашите ни резонансни честоти да се получат в нискочестотната област (до 100 Hz), което е типично за големогабаритни и тежки механични системи. Методиката на експеримента се изразява в компютърно измерване и графично представяне на огъващите колебания на модела в уточнените по-горе две основни равнини и торсионно около една от осите на К.С. (Дамянов, 2007).

Това предполага извършването на три серии от опити при което последователно бяха възбудени затихващи колебания чрез импулсно прилагане на силово и торсионно въздействие (F_x, F_z и M_y) съгласно фиг.1. Получените резултати са систематизирани и представени в табличен и графичен вид.

В таблица 1 са дадени основните масови параметри на модела както следва:

Таблица 1

№	ω	α	ζ	k	b
1	8,4 Hz	3.59E-03	0.0036	4415 N/m	0,656 N.s/m
2	16,2 Hz	3.27E-03	0.003	16393 N/m	1,053 N.s/m
3	36,8 Hz	1.09E-03	0.0011	155 Nm/rad	0,00157 N.m.s/rad

Където: ω – резонансна честота;

α – логаритмичен декремент на затихване;

ζ – коефициент на демпфериране;

k – константа на коравина;

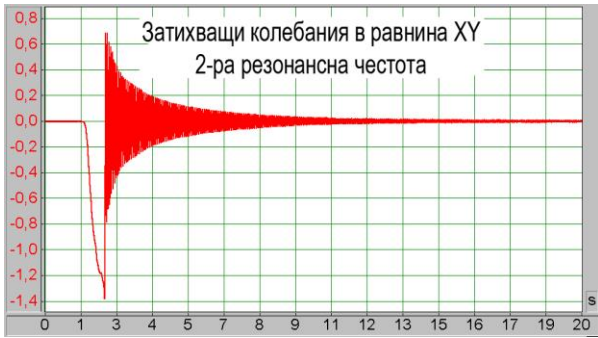
b – демпферна константа;

Стойностите на изброените параметри са получени на базата на известните аналитични зависимости по (de Silva, 2000).

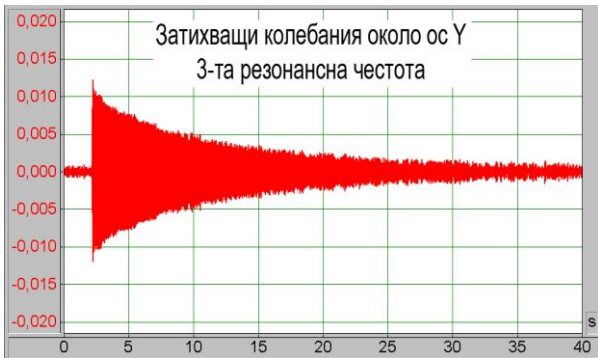


Фиг.3

На фигури 3, 4 и 5 са показани затихващите колебания на модела съгласно методиката на експеримента за първите три резонансни честоти.



Фиг.4



Фиг. 5

4. Теоретични предпоставки, резултати и анализ

Пресмятането на коефициента на демпфиране ξ за неизвестната трета резонансна честота може да стане по следната формула съгласно (Indrajit Chowdhury, 2003):

$$\xi_i = \frac{\xi_m - \xi_1}{\omega_m - \omega_1} (\omega_i - \omega_1) + \xi_1 \dots\dots\dots(1)$$

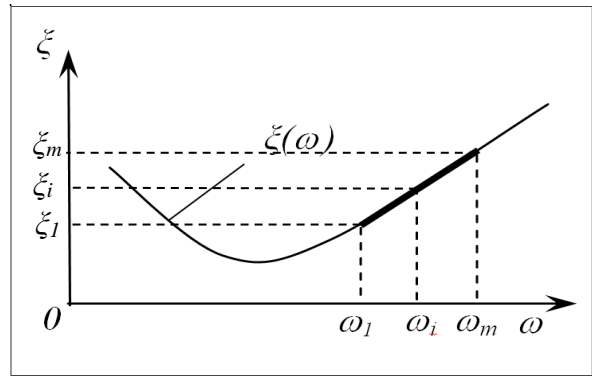
където:

ξ е коефициент на демпфиране;
 ω - ъглова скорост;

В този случай, че $\omega_i > \omega_m$ трябва да се има пред вид и ограничението $m < i < 2,5 m$ при което изразът (1) ще се преобразува както следва:

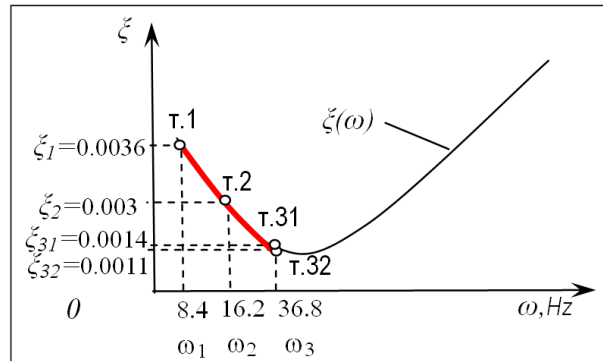
$$\xi_i = \frac{\xi_m - \xi_1}{\omega_m - \omega_1} (\omega_{m+i} - \omega_m) + \xi_1 \dots\dots\dots(2)$$

Посочените изрази представят като линейна интерполацията само на крайната част от функционалната зависимост $\xi(\omega)$ - виж фиг.6



Фиг. 6

На тази база е извършено пресмятане на еластично-демпферните параметри (ξ , κ) на третата резонансна честота на обекта на изследване, която в примера характеризира механичните колебания при торсионна деформация по оста Z. Анализът на експериментално получената функционална зависимост $\xi(\omega)$ показва, че стойности за резонансните честоти са разположени в началната област на кривата $\xi(\omega)$ – фиг. 7.



Фиг. 7

От друга страна експерименталните данни на базата, на които е изчислена стойността на ξ за този модел показват, че функцията $\xi(\omega)$ също е практически линейна. Това позволява да се приеме, че за аналитичното определяне на ξ_{32} с линейна интерполация може да бъдат получени достоверни резултати за големината на коефициента на демпфиране при известни ξ_1 , ξ_2 , ω_1 , ω_2 и ω_3

$$\xi_3 = \xi_1 - \frac{\xi_1 - \xi_2}{\omega_2 - \omega_1} (\omega_3 - \omega_1) \dots\dots\dots(3)$$

При $\xi_1 = 0.0036$; $\xi_2 = 0.003$;
 $\omega_1 = 8.4 \text{ Hz}$; $\omega_2 = 16.2 \text{ Hz}$; $\omega_3 = 36.8 \text{ Hz}$

От аналитичното пресмятане за ξ_3 се получава -
 $\xi_{31} = 0.0014$
 Експериментално получената стойност е
 $\xi_{32} = 0.0011$

На фиг.7 експерименталната крива на функцията $\xi(\omega)$ е показана с плътна линия от т.1 до т.32, а аналитично получената стойност за ξ_{31} – с ординатата на т.31. Отклонението между двете стойности е $\Delta\xi = 0.0003$.

Тези резултати показват малка абсолютна разлика в стойностите на ξ_{32} и ξ_{31} , но като относително отклонение между коефициентите на демпфериране, същата не може да се определи за приемлива и поради това тълкуването на получените резултати от изследването ще бъдат ограничени предимно в областта на качествените оценки.

Прецизното разглеждане на функцията $\xi_{32}(\omega)$, получена на базата на експерименталните данни за еластично-демпферните параметри за модела, който е обект на изследване, показва съществена нелинейност в началната област на кривата. В това отношение е налице разлика от представеното в работата на (Indrajit Chowdhury), където тази част от кривата е линейна и би могла да се използва като работна област за изчисляване на ξ_3 . Тук следва да се има пред вид, че въпреки всичко това, този автор не предлага възможност да се използва неговият аналитичен метод за определяне на коефициента ξ , ако резонансната честота, за която се пресмята е в същата област.

5. Заключение

В извършеното теоретико-експериментално научно изследване е доказана практическата възможност за определяне на коефициентите на демпфериране за механични конструкции с познати масови параметри и ограничения на степените на подвижност. Чрез съчетаване на известни аналитични методи с експериментални такива, е получена нова възможност за определяне на този много важен параметър, числената стойност, на който е необходима при решаването на голяма група задачи от честотно-резонансния анализ и динамиката на машините.

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

В тази връзка могат да бъдат направени следните обобщаващи изводи:

- Необходимо е прецизиране на апроксимиращата функция на коефициента на демпфериране чрез добиване на експериментално получени стойности в серия от изследвания на различни характерни модели. Това е необходимо за да се потвърди или коригира действителната функция на изменение на коефициента на демпфериране ξ в дадената честотна област;

- По същата причина представлява интерес и уточняването на базата на експерименталните известни стойности на ξ за дадени резонансни честоти, на универсалните коефициенти на *Rayleigh* (коефициенти на матрицата на демпфериране);

- На базата на достатъчно експериментални стойности, да се потърси и нелинейна апроксимация на функцията $\xi(\omega)$, с което може да се разшири практическото приложение на метода на (Indrajit Chowdhury) и в понискочестотната работна областта;

- Да се прецизират допълнително всички получени по експериментален метод резултати, чрез паралелен модален анализ на същите механични обекти с инструментите на подходяща компютърна (CAE) програма.

Литература

- Бидерман В. Л., "Прикладная теория механических колебаний", И "Высшая школа" Москва 1972.
- 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)
- I Jiosan, Dynamic Analysis with Damping for Free Standing Structures using Mechanical Event Simulation, West Coast Engineering Group Ltd., Vancouver, Canada
- Indrajit Chowdhury, Shambhu P. Dasgupta, Computation of Rayleigh Damping Coefficients for Large Systems, The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, Volume 8/2003, Bundle 8C
- Дамянов, Цв. Л. и др. Специални приложения на тензометрията за нискочестотна вибродиагностика в областта на минната техника, Сборник доклади от научната конференцията на НИС при МГУ, София 2007.

ОТНОШЕНИЕ НА МОЩНОСТИТЕ НА ДВИГАТЕЛИТЕ НА ОСНОВНИЯ И СПОМАГАТЕЛНИЯ ТРАНСПОРТЪОР ПРИ ТРАНСПОРТЪОРИ С ГОРНА ПРИТИСКАЩА ЛЕНТА

Христо Шейретов

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

РЕЗЮМЕ. Определени са мощностите на двигателите на основния и спомагателния транспортър при различни ъгли на наклон. Отношението на мощностите намалява с увеличаване на ъгъла на наклон.

RATIO OF THE MOTOR POWERS OF THE MAIN AND AUXILIARY CONVEYOR IN SANDWICH CONVEYORS

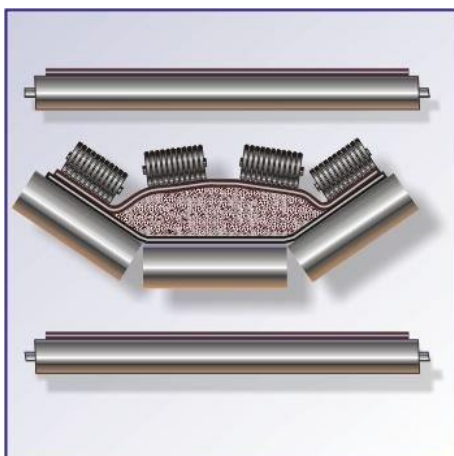
Hristo Sheiretov

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

ABSTRACT. The motor powers of the main and auxiliary conveyor are determined at different slope angles. The ratio of the motor powers increases when the angle decreases.

Въведение

Транспортърите с горна притискаща лента (фиг.1) се използват за подем на полезно изкопаемо в откритите рудници, за натоварване на бункери, във вертикални шахти, за натоварване на кораби и при роторните багери. Могат да транспортират материал при наклон от 30° до 90°. Производителността им достига 9000 t/h, скоростта на движение - 6m/s, височината на издигане на материала - 90m и широчината на лентата - 3 m.



Фиг.1 Схема на транспортър с горна притискаща лента

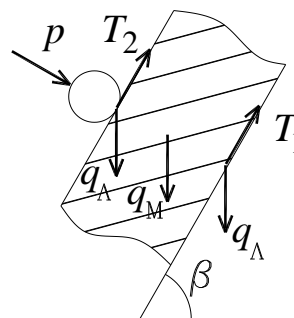
Определяне на линейния натиск на притискащите ролки

Уравнението за граничното равновесие на материала е (фиг.2):

$$T_1 + T_2 \geq q_m \cdot \sin \beta, \quad (1)$$

където:

T_1 – сила на триене между материала и лентата на основния транспортър за участък с дължина 1m;
 T_2 – сила на триене между материала и лентата на спомагателния транспортър за участък с дължина 1m;
 q_m [N/m] – линейно тегло на материала;
 β [°] – ъгъл на наклона на транспортиране;



Фиг.2 Схема за определяне на равновесието на материала

$$T_1 = (q_m + q_l + p) \cdot \mu \cdot \cos \beta, \text{ N/m} \quad (2)$$

$$T_2 = (q_l + p) \cdot \mu \cdot \cos \beta, \text{ N/m} \quad (3)$$

q_l [N/m] – линейно тегло на лентата;
 p [N/m] – линейен натиск създаван от притискащите ролки;
 μ – коефициент на триене между лентата и материала.

Тогава за да бъде възможно транспортирането на материала трябва да е изпълнено условието:

$$tg\beta \leq \frac{1+2.(q_l + p)}{q_m} . \mu \quad (4)$$

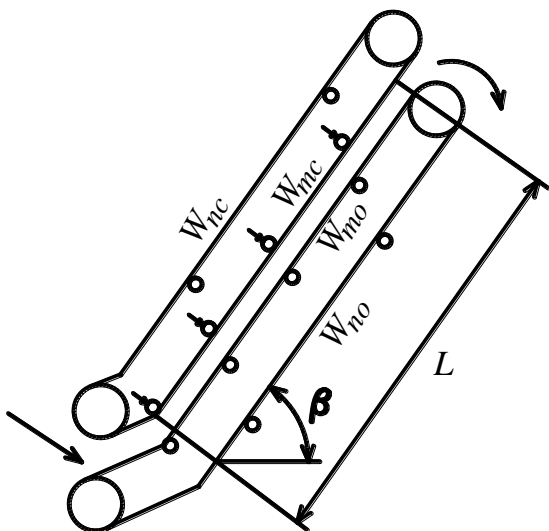
Ако решим уравнение (4) спрямо p , за линейния натиск ще получим:

$$p \geq \frac{q_m.(tg\beta - 1)}{2.\mu} - q_l \quad (5)$$

От уравнение (5) се вижда, че колкото е по-голям ъгълът на наклон β , толкова по-голям трябва да бъде и линейният натиск на притискащите ролки.

Определяне на съпротивленията при движение на основния и спомагателния транспортър

За основния транспортър съпротивленията в товарния и празния клон съпротивленията са съответно (фиг.3):



Фиг.3 Схема за определяне на съпротивленията при движение

$$W_{mo} = [(2.q_l + q_m + q_p' + p).w.\cos\beta + (q_l + k_1.q_m).\sin\beta]L \quad , N \quad (6)$$

$$W_{no} = [(q_l + q_p'').w.\cos\beta - q_l.\sin\beta]L \quad , N \quad (7)$$

където:

q_p' [N/m] – линейно тегло на ролковите опори в товарния клон;

q_p'' [N/m] – линейно тегло на ролковите опори в празния клон;

w – коефициент на съпротивление при движение;

k_1 – коефициент, който отчита каква част от теглото на материала се поема от основния транспортър;

L [m] – дължина на транспортъра.

Стойностите на q_m , q_l , q_p' и q_p'' могат да се определят по формулите:

$$q_m = \frac{Q_h.g}{3,6.v} \quad q_l = 15.g.B \quad q_p' = \frac{G_p'}{l_p'} \quad q_p'' = \frac{G_p''}{l_p''}$$

където:

Q_h [t/h] – производителност на транспортъра;

$g = 9,81\text{m/s}^2$ – земно ускорение;

v [m/s] – скорост на транспортиране на материала;

B [m] – ширина на лентата;

G_p' [N] – тегло на ролковите опори в товарния клон;

G_p'' [N] – тегло на ролковите опори в празния клон;

l_p' [m] – разстояние между ролковите опори в товарния клон;

l_p'' [m] – разстояние между ролковите опори в празния клон.

За спомагателния транспортър съпротивленията в товарния и празния клон са:

$$W_{mo} = [p.w.\cos\beta + (q_l + k_2.q_m).\sin\beta]L \quad , N \quad (8)$$

$$W_{no} = [(q_l + q_p'').w.\cos\beta - q_l.\sin\beta]L \quad , N \quad (9)$$

където:

k_2 – коефициент, който отчита каква част от теглото на материала се поема от спомагателния транспортър.

Коефициентите k_1 и k_2 можем да определим по следния начин. Означаваме отношението на триещите сили с k .

$$k = \frac{T_1}{T_2} = \frac{q_m + q_l + p}{q_l + p} \quad (10)$$

След решаване на системата:

$$\frac{k_1}{k_2} = k \quad (11)$$

$$k_1 + k_2 = 1$$

$$k_2 = \frac{1}{k+1} \quad (12)$$

$$k_1 = 1 - k_2 \quad (13)$$

Определяне на мощността на двигателите на основния и спомагателния транспортър

Могат да се определят по формулите:

$$N_{\text{дво}} = \frac{W_{mo} + W_{no}}{1000.\eta} . v \quad , KW \quad (14)$$

$$N_{\text{двс}} = \frac{W_{mc} + W_{nc}}{1000.\eta} . v \quad , KW \quad (15)$$

където:

η – КПД на задвижването.

Определяне на отношението на мощностите за различни ъгли на наклона

Ще направим изчисления при следните входни данни: $Q_n=2500 \text{ t/n}$, $L=57 \text{ m}$, $v=5,33 \text{ m/s}$, $G_p=450 \text{ N}$, $G_p''=370 \text{ N}$, $l_p'=0,9 \text{ m}$, $l_p''=1,8 \text{ m}$, $\mu=0,6$, $w = 0,04$, $B = 1,524 \text{ m}$, $\eta=0,9$.

В табл.1 са дадени получените резултати при изчисляването на мощностите $N_{\text{дво}}$ и $N_{\text{двс}}$, отношението $N_{\text{дво}}/N_{\text{двс}}$ и натиска на притискащите ролки p при различни ъгли на наклона.

Таблица 1.

Резултати от изчисленията за необходимите мощности на двигателите, отношението на мощностите и натиска на притискащите ролки

β [°]	65	70	75	80
$N_{\text{дво}}$ [KW]	286	278	268	258
$N_{\text{двс}}$ [KW]	139	162	184	201
$\frac{N_{\text{дво}}}{N_{\text{двс}}}$	2,05	1,71	1,46	1,28
p [N]	1016	1610	2736	4840

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

Изводи

Получените резултати показват, че при увеличаване на ъгъла на наклон на транспортъора β , отношението $N_{\text{дво}}/N_{\text{двс}}$ намалява, като се изменя от 2,05 при 65° до 1,28 при 80° . При вертикално транспортиране това отношение ще бъде равно на единица, тъй като двата транспортъора работят при еднакви условия. В практиката са монтирани транспортъори с отношение на мощностите 1, 1,5 и 2. При малки ъгли на наклона се монтира двигател само на основния транспортъор.

Литература

Кузманов, А.И. 1986. *Транспорт в обогатителните фабрики*. С, 247 с.
Continental high angle conveying. Continental Conveyor. Каталог, 8 р.
Sandwich conveyors. The Bulk Materials Handling Knowledge Base.

СРАВНЯВАНЕ НА МЕТОДИКИТЕ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА МОЩНОСТА НА ДВИГАТЕЛЯ НА ЛЕНТОВИ ТРАНСПОРТЪОРИ

Христо Шейретов

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

РЕЗЮМЕ. Целта на настоящето изследване е да се сравнят резултатите за мощността на двигателя получени при различни методики за изчисляване. Направени са изчисления на девет транспортъора при различни производителности и дължини на транспортиране.

COMPARISON OF THE METHODOLOGIES FOR THE DETERMINATION OF BELT CONVEYORS MOTOR POWER

Hristo Sheiretov

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

ABSTRACT. Aim of the present study is to compare the calculation results for the motor power, when different methodologies are used. Calculations of nine belt conveyors with different capacities and lengths of transportation are done.

Въведение

Методики за изчисляване на лентови транспортъори са дадени в учебниците и ръководствата разглеждащи транспортни машини с непрекъснато действие (Васильев, 1991; Дьяков, 1986), в стандартите за изчисляване (СЕМА; DIN22101), а също от някои фирми произвеждащи транспортни ленти (Dunlop; Phoenix).

Има уточнени (детайлни) методики (Васильев, 1991; Дьяков, 1986; Станев, 1975; СЕМА; DIN22101) и приближени (ориентировъчни) методики (Брах, 1957; Кузманов, 1999) за определяне на необходимата мощност на задвижване.

При някои уточнени методики (Васильев, 1991; Дьяков, 1986) се определят силите на опън във всички точки от контура на лентата. След това от силите във влизания и излизания клон се определя общото съпротивление и мощността на задвижване.

При други методики (Станев, 1975; СЕМА; DIN22101; Dunlop) общото съпротивление се определя от сумирането на съпротивленията в горния и долния клон и на допълнителните съпротивления. Съпротивленията в барабаните се отчитат чрез коефициенти, участващи във формулите за съпротивленията в двата клона.

При приближените методики (Брах, 1957; Кузманов, 1999) мощността се определя по ориентировъчни формули.

Целта на настоящето изследване е да се сравнят резултатите за необходимата мощност на двигателя получени по различните методики.

Описание на методиките за изчисляване

Според източници (Васильев, 1991; Дьяков, 1986) (методика №1) последователността на изчисляване е следната (Фиг.1):

1) Определят се съпротивленията в товарния и празния клон на транспортъора по формулите:

$$\begin{aligned} W_{m1} &= [(q_l + q_m + q_p')w \cos \beta_1 + (q_l + q_m) \sin \beta_1] L_1, N \\ W_{m2} &= [(q_l + q_m + q_p')w \cos \beta_2 + (q_l + q_m) \sin \beta_2] L_2, N \\ W_{n1} &= [(q_l + q_p'')w \cos \beta_1 - q_l \sin \beta_1] L_1, N \\ W_{n2} &= [(q_l + q_p'')w \cos \beta_2 - q_l \sin \beta_2] L_2, N \end{aligned} \quad (1)$$

където:

q_l [N/m] – линейно тегло на лентата;

q_m [N/m] – линейно тегло на материала;

q_p' и q_p'' [N/m] – линейни тегла на въртящите се части на ролковите опори в товарния и празния клон;

w – коефициент на съпротивление при движение;

β_1 и β_2 [°] – ъгли на наклона на транспортиране на двата участъка;

L_1 и L_2 [m] – дължини на двата участъка.

2) Определя се минималната сила на опън в лентата от условията за липса на буксуване и максимално провисване на лентата:

$$S_1 = \frac{k_T \cdot A}{e^{\mu(\alpha_1 + \alpha_2)} - k^2 \cdot k_1^2} \quad S_1 = 8 \cdot q_l \cdot J_p'', N \quad (2)$$

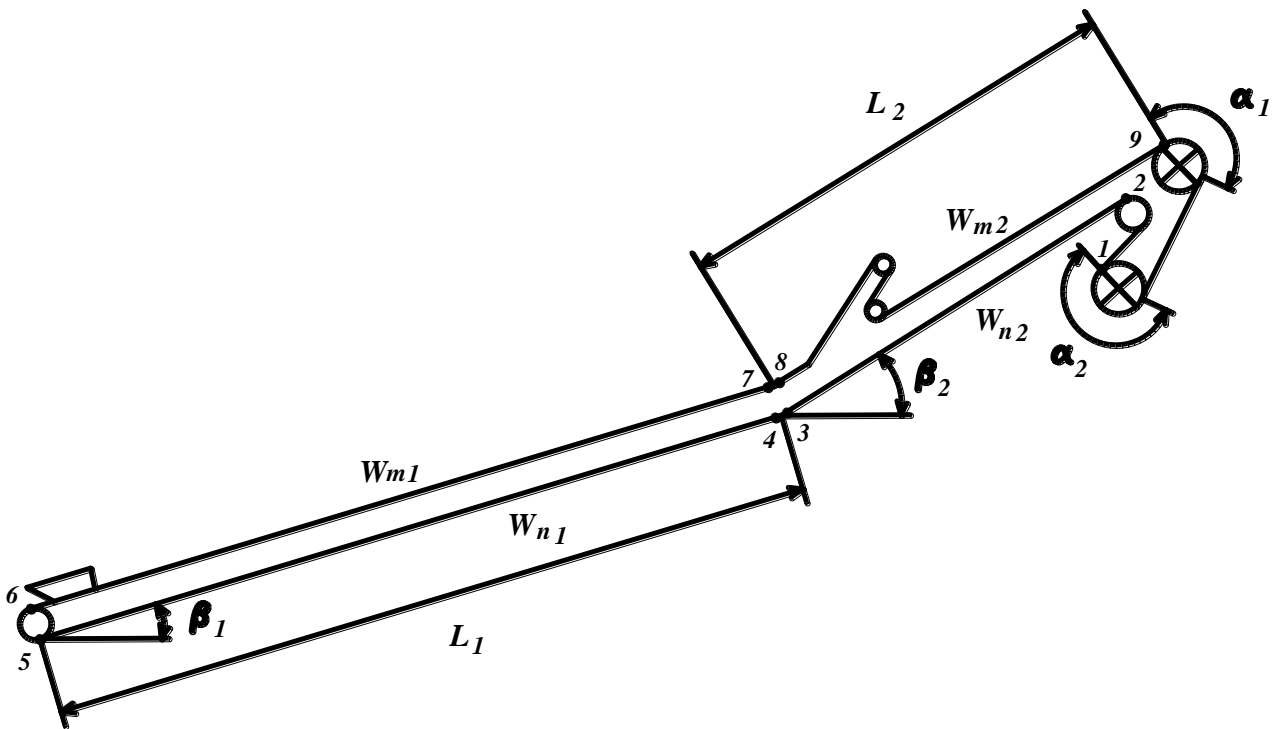
където:

$$A = k^2 \cdot k_1 \cdot W_{n2} + k \cdot k_1 \cdot W_{n1} + k_1 \cdot W_{m1} + W_{m2} + k_1 \cdot W_n + W_p$$

$k_T = 1,2$ – коефициент на резерв от триеща сила;
 μ – коефициент на триене между лентата и барабана;
 α_1 и α_2 [rad] – ъгли на обхват на задвижващите барабани;
 $k = 1,05$ – коефициент отчитащ съпротивлението в обръщателния барабан;
 $k_1 = 1,03$ – коефициент отчитащ съпротивлението в отклонителния барабан;
 l_p [m] – разстояние между ролковите опори в празния клон;
 W_n [N] – съпротивление от натоварване на материала;
 W_p [N] – съпротивление от разтоварване на материала.

3) Определят се останалите сили в лентата по метода на обхождане:

$$\begin{aligned} S_2 &= k \cdot S_1 & S_3 &= S_2 + W_{n2} & S_4 &= k_1 \cdot S_3 \\ S_5 &= S_4 + W_{m1} & S_6 &= k \cdot S_5 & S_7 &= S_6 + W_{m1} + W_n \\ S_8 &= k_1 \cdot S_7 & S_9 &= S_8 + W_{m2} + W_p \end{aligned} \quad (3)$$



Фиг.1 Схема на транспортъора

4) Определят се общото съпротивление и мощността на двигателя (при два задвижващи барабана общата мощност на двигателите):

$$W = S_9 - S_1 + k_3 \cdot (S_9 + S_1) \quad , \text{ N} \quad (4)$$

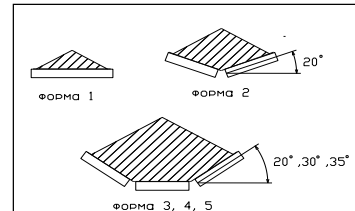
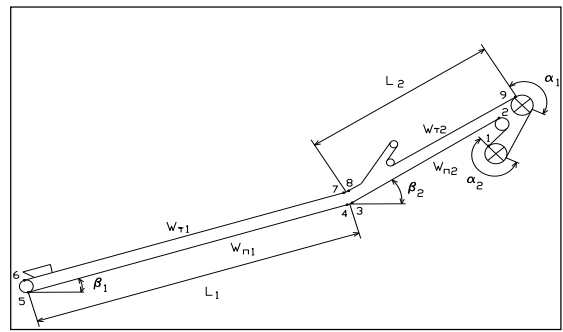
$$N_{дв} = \frac{W \cdot v}{1000 \cdot \eta} \quad , \text{ KW} \quad (5)$$

където:

$k_3 = 0,03$ – коефициент на съпротивление в задвижващите барабани;

На базата на тази методика е разработена програма от автора в среда Excel с използване на макроси (програми на Visual Basic) за определяне на търсените величини (Фиг.2). Силите на опън в лентата се определят два пъти. При първото обхождане линейното тегло на лентата се приема ориентировъчно. След това от максималната сила се избира лента по каталог. Прави се второ обхождане за определяне на силите с теглото на избраната лента.

Qh [t/h]	5000	k	1.05	S1 [N]	77740
ρ [t/m ³]	0.9	k1	1.03	S5 [N]	72040
v [m/s]	5	μ	0.25	Smin [N]	72040
форма	4	$\alpha_1 + \alpha_2$ [rad]	6.45	S1 [N]	77420
δ [°]	35	Wнат [N]	3450	S2 [N]	81290
β_1 [°]	0.6	Wпаз [N]	3000	S3 [N]	64570
β_2 [°]	5	kt	1.2	S4 [N]	66500
amax [mm]	200	S1 [N]	74240	S5 [N]	72030
L1 [m]	500	S2 [N]	77950	S6 [N]	75630
L2 [m]	500	S3 [N]	68690	S7 [N]	142690
материал	3	S4 [N]	70750	S8 [N]	146970
т-тьор	1	S5 [N]	74540	S9 [N]	340070
B [m]	1.6	S6 [N]	76770	z	0
Gp' [N]	482	S7 [N]	139580	Sp [N/m.вп]	2500000
Gp'' [N]	382	S8 [N]	143760	ql [N/m]	580
dp' [mm]	159	S9 [N]	323410	Wт1 [N]	63610
dp'' [mm]	194	z	0	Wт2 [N]	190100
lp' [m]	1.2	Sp [N/m.вп]	2500000	Wн1 [N]	5530
lp'' [m]	3.6	ql [N/m]	580	Wн2 [N]	-16720
qp' [N/m]	401	Wт1 [N]	63610	W [N]	275170
qp'' [N/m]	106	Wт2 [N]	190100	η	0.85
qm [N/m]	2725	Wн1 [N]	5530	Ндв [KW]	1618
ql [N/m]	340	Wн2 [N]	-16720		
w	0.025				
Wт1 [N]	59360				
Wт2 [N]	176650				
Wн1 [N]	3790				
Wн2 [N]	-9260				



материал: 1-глина, пясък, цимент, зърно 2-въглища до 150mm, руда, скала до 80mm 3-руда, скала до 500mm
 транспортър: 1-стационарен 2-полустационарен 3-местим 4-подземен

Фиг.2 Програма на Visual Basic в среда Excel

Според немския стандарт DIN 22101 (Станев, 1975; Phoenix) (методика №2) мощността на двигателя се определя по формулите:

$$P_{Merf} = \frac{F_W \cdot v}{\eta_{ges}}, W \quad (6)$$

$$F_W = F_H + F_N + F_{St} + F_S, N \quad (7)$$

$$F_H = F_{Ho1} + F_{Ho2} + F_{Hu1} + F_{Hu2}, N \quad (8)$$

$$\begin{aligned} F_{Ho1} &= f \cdot L_1 \cdot g \cdot [m'_{Ro} + (m'_G + m'_L) \cos \delta_1] \\ F_{Ho2} &= f \cdot L_2 \cdot g \cdot [m'_{Ro} + (m'_G + m'_L) \cos \delta_2] \\ F_{Hu1} &= f \cdot L_1 \cdot g \cdot [m'_{Ru} + m'_G \cdot \cos \delta_1] \\ F_{Hu2} &= f \cdot L_2 \cdot g \cdot [m'_{Ru} + m'_G \cdot \cos \delta_2] \end{aligned}, N \quad (9)$$

$$F_N = (C-1)F_H, N \quad (10)$$

$$F_{St} = H \cdot g \cdot m'_L, N \quad (11)$$

$$H = L_1 \cdot \sin \delta_1 + L_2 \cdot \sin \delta_2, m \quad (12)$$

където:

P_{Merf} (съответства на $N_{\delta\delta}$) – необходима мощност на двигателя;

η_{ges} (съответства на η) – КПД на задвижването;

F_W (съответства на W) – общо съпротивление;

F_H – основно съпротивление;

F_N – второстепенно съпротивление;

F_{St} – съпротивление от наклона;

F_S – допълнително съпротивление;

$F_{Ho1}, F_{Ho2}, F_{Hu1}, F_{Hu2}$ – съпротивления в горния и долния клон за двата участъка на транспортъора;

f (съответства на w) – коефициент на съпротивление при движение;

m'_{Ro}, m'_{Ru} [kg/m] – линейни маси на въртящите се части на ролковите опори в горния и долния клон;

m'_G [kg/m] – линейна маса на лентата;

m'_L [kg/m] – линейна маса на материала;

δ_1, δ_2 [°] (съответстват на β_1 и β_2) – ъгли на наклона на транспортиране за двата участъка;

H [m] – денивелация на транспортъора.

Коефициентът C се нарича коефициент на допълнително съпротивление и отчита съпротивленията в барабаните на транспортъора. Той се увеличава при намаляване на дължината на транспортъора. При дължина $L=1000m$ ($L=L_1+L_2$) $C=1,05$, при $L=500m$ $C=1,2$, а при $L=100m$ $C=1,8$.

Ако приведем формули (6)-(12) към означенията от методика №1 ще получим:

$$N_{\delta\delta} = \frac{W \cdot v}{1000 \cdot \eta}, kW \quad (13)$$

$$W = F_H + F_N + F_{St} + F_S, N \quad (14)$$

$$\begin{aligned} F_{Ho1} &= w \cdot L_1 \cdot [q'_p + (q_l + q_m) \cos \beta_1] \\ F_{Ho2} &= w \cdot L_2 \cdot g \cdot [q'_p + (q_l + q_m) \cos \beta_2] \\ F_{Hu1} &= w \cdot L_1 \cdot [q''_p + q_l \cdot \cos \beta_1] \\ F_{Hu2} &= w \cdot L_2 \cdot [q''_p + q_l \cdot \cos \beta_2] \end{aligned}, N \quad (15)$$

$$F_{St} = H \cdot q_m, N \quad (16)$$

$$H = L_1 \cdot \sin \beta_1 + L_2 \cdot \sin \beta_2, m \quad (17)$$

$$F_S = W_p + W_n, N \quad (18)$$

Формули (8) и (10) не се променят.

Според американския стандарт CEMA (CEMA; Conveyor Design) (методика №3) общото (ефективно) съпротивление T_e (съответства на W) се определя по формулата:

$$T_e = T_h + T_{lift} + T_u \quad , \text{ N} \quad (19)$$

където:

T_h – съпротивление за хоризонтално преместване на лентата и материала;

T_{lift} – съпротивление за издигане на материала;

T_u – допълнително съпротивление.

$$T_h = L \cdot g \cdot [k_x + k_y \cdot (W_b + W_m) + 0,015 \cdot W_b] \quad , \text{ N} \quad (20)$$

$$k_x = 0,00068 \cdot (W_b + W_m) + 0,022 \cdot W_i \quad , \text{ kg/m} \quad (21)$$

$$T_{lift} = g \cdot W_m \cdot H \quad , \text{ N} \quad (22)$$

където:

$L = L_1 + L_2$ [m] – дължина на транспортъора;

k_y (съответствува на w) – коефициент на съпротивление при движение;

W_b [kg/m] – линейна маса на лентата;

W_m [kg/m] – линейна маса на материала;

W_i [kg/m] – сума от линейните маси на въртящите се части на ролковите опори в горния и долния клон.

При привеждане на формули (19)÷(22) към означенията от методика №1 ще получим:

$$W = T_h + T_{lift} + T_u \quad , \text{ N} \quad (23)$$

$$T_h = L \cdot [k_x + w \cdot (q_l + q_m) + 0,015 \cdot q_l] \quad , \text{ N} \quad (24)$$

$$k_x = 0,00068 \cdot (q_l + q_m) + 0,022 \cdot (q_p' + q_p'') \quad , \text{ N/m} \quad (25)$$

$$T_{lift} = q_m \cdot H \quad , \text{ N} \quad (26)$$

$$T_u = W_n + W_p \quad , \text{ N} \quad (27)$$

Мощността на двигателя се определя по формула (5).

Подобна на предишната е методиката на фирма Dunlop (Dunlop Conveyor Belt) (методика №4). При нея :

$$T_e = T_x + T_y + T_z + T_u \quad , \text{ N} \quad (28)$$

където:

T_x – съпротивление на празен ход;

T_y – съпротивление за хоризонтално транспортиране на материала;

T_z – съпротивление за издигане на материала.

$$T_x = g \cdot G \cdot f_x \cdot L_c \quad , \text{ N} \quad (29)$$

$$T_y = g \cdot Q \cdot f_x \cdot L_c \quad , \text{ N} \quad (30)$$

$$T_z = g \cdot Q \cdot H \quad , \text{ N} \quad (31)$$

където:

G [kg/m] – линейна маса на движещите се части;

f_x (съответства на w) – коефициент на съпротивление при движение;

$L_c = L + 70$ [m] – коригирана дължина на транспортъора;

Q [kg/m] – линейна маса на материала.

При привеждане на формули (28)÷(31) към означенията от методика №1 ще получим:

$$W = T_x + T_y + T_z + T_u \quad , \text{ N} \quad (32)$$

$$T_x = (q_p' + q_p'' + 2 \cdot q_l) \cdot w \cdot L_c \quad , \text{ N} \quad (33)$$

$$T_y = q_m \cdot w \cdot L_c \quad , \text{ N} \quad (34)$$

$$T_z = q_m \cdot H \quad , \text{ N} \quad (35)$$

В източник (Кузманов, 1999) (методика №5) е дадена ориентировъчна формула за определяне на мощността на двигателя:

$$N_{ог} = 1,1 \cdot \frac{0,000055 \cdot L \cdot q_o \cdot v + 0,00055 \cdot L \cdot Q_s + 0,01 \cdot Q_s \cdot H}{\eta} \quad , \text{ KW} \quad (36)$$

където:

$q_o = q_p' + q_p'' + 2 \cdot q_l$, N/m – линейно тегло на движещите се части;

$Q_s = \frac{Q_h}{3,6}$, kg/s – секундна производителност;

Q_h [t/h] – часова производителност.

В източник (Брах, 1957) (методика №6) е предложена формула за определяне на мощността на двигателя:

$$N_{ог} = (3,6 \cdot w \cdot q_o \cdot L \cdot v + w \cdot Q_h \cdot L + Q_h \cdot H) \cdot \frac{k \cdot l}{370} \quad , \text{ KW} \quad (37)$$

където:

k – коефициент отчитащ броя на барабаните. При два барабана $k=1,1$, при четири барабана – $k=1,25$ и при шест барабана – $k=1,35$;

l – коефициент отчитащ дължината на транспортъора. При $L=100\text{m}$ – $l=1,07$, при $L=500\text{m}$ – $l=1,02$ и при $L=1000\text{m}$ – $l=1$.

Резултати от изследването

Направени са изчисления на девет транспортъора, при три производителности и три дължини по схемата от Фиг.1. Приети са следните общи параметри: $\rho=0,85\text{t/m}^3$ (плътност на транспортирания материал – за въглища), $\gamma=30^\circ$ (ъгъл

на наклон на страничните ролки), $\delta=35^\circ$ (ъгъл на естествения откос на материала), $\beta_1=0,6^\circ$, $\beta_2=5^\circ$, $w=0,025$, $\alpha_1+\alpha_2=6,45$ rad, $\eta=0,85$. Резултатите от изчисленията са дадени в табл.1, табл.2 и табл.3.

Таблица 1.

Резултати от изчисленията за необходимата мощност на двигателя по различните методики при $Q_h=5000t/h$ и $v=5m/s$

L [m]	1000	500	100
L ₁ [m]	500	250	50
L ₂ [m]	500	250	50
Методика №1 Дьяков, Васильев $\mu = 0,25$	1620	800	190
Методика №1 Дьяков, Васильев $\mu = 0,35$	1530	770	190
Методика №2 DIN 22101	1500	780	220
Методика №3 СЕМА	1430	710	170
Методика №4 Dunlop	1510	760	210
Методика №5 Кузманов	2230	1050	210
Методика №6 Брах	1760	850	180
H [m]	48,8	24,4	4,9
C	1,05	1,2	1,8
I	1	1,1	1,7
q _л [N/m]	580	376	329

$B=1m$, $q'_p=401N/m$, $q''_p=106N/m$, $q_m=2725N/m$
 $W_H+W_p=6600N$

B – широчина на лентата

Таблица 2.

Резултати от изчисленията за необходимата мощност на двигателя по различните методики при $Q_h=500t/h$ и $v=2m/s$

L [m]	1000	500	100
Методика №1 Дьяков, Васильев $\mu = 0,25$	186	97	30
Методика №1 Дьяков, Васильев $\mu = 0,35$	179	95	30
Методика №2 DIN 22101	172	96	32
Методика №3 СЕМА	163	85	25
Методика №4 Dunlop	174	93	31
Методика №5 Кузманов	257	125	25
Методика №6 Брах	196	106	32
q _л [N/m]	229	206	206

$B=1m$, $q'_p=178N/m$, $q''_p=44N/m$, $q_m=681N/m$
 $W_H+W_p=4500N$

Таблица 3.

Резултати от изчисленията за необходимата мощност на двигателя по различните методики при $Q_h=100t/h$ и $v=1m/s$

L [m]	1000	500	100
Методика №1 Дьяков, Васильев $\mu = 0,25$	43	23	9
Методика №1 Дьяков, Васильев $\mu = 0,35$	41	23	9
Методика №2 DIN 22101	40	23	9
Методика №3 СЕМА	37	20	7
Методика №4 Dunlop	40	23	9
Методика №5 Кузманов	58	28	5
Методика №6 Брах	43	23	7

$B=0,65m$, $q'_p=85N/m$, $q''_p=21N/m$, $q_m=272N/m$
 $W_H+W_p=3750N$

Изводи

При малки дължини и малки производителности необходимите мощности на двигателя получени при различните методики са с близки стойности. При $Q_h=100t/h$, $L=100m$ и $L=500m$ (табл.3) резултатите по методики I, II и IV са еднакви.

При ориентировъчните методики (№5 и №6) при малки дължини резултатите са близки до тези на уточнените. При големи дължини на транспортъора обаче, при тях се получават резултати със значително по-високи стойности.

При методика №1 се отчита коефициента на триене между лентата и барабана μ . При малки дължини при $\mu=0,25$ и $\mu=0,35$ за мощността на двигателя се получават еднакви резултати, но при големи дължини разликата е значителна.

Литература

- Брах,И. 1957. *Подемно-транспортни съоръжения - справочник*. С., Наука и изкуство, 569 с.
Васильев, К.А. 1991. *Транспортные устройства и склады*. Москва, Недра, 238 с.
Дьяков, В.А. 1986. *Транспортные машины и комплексы открытых разработок*. Москва, Недра, 343 с.
Кузманов, А.И. 1999. *Руководство за упражнения по рудничен транспорт*. С., 147 с.
Станев, П. 1975. *Транспортъори лентови – изчисляване*. ИНТРАНСМАШ, 127 с.
СЕМА – *Belt Conveyors for Bulk Materials Conveyor Design and design standarts*. 2002.
Conveyor Knowledge and Information Technology.
Dunlop Conveyor Belt Design Manual
Phoenix Conveyor Belt Design Fundamentals DIN 22101. 2004. Hamburg, 64 p.

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

ЕФЕКТИВЕН МЕТОД ЗА УВЕЛИЧАВАНЕ НА ВИСОЧИНАТА НА ПОДЕМ НА БАРАБАННИ РУДНИЧНИ ПОДЕМНИ УРЕДБИ

Илия Йочев

"Рудметал" АД, 4960 гр. Рудозем

РЕЗЮМЕ. В доклада е направен кратък обзор на възможните методи за увеличаване на височината на подема на рудничните подемни уредби. Изложен е метод приложим за подемна уредба с два скипа, при прилагането на който се постига почти двойно увеличаване на височината на подема. Изведени са аналитични зависимости базирани върху теорията на рудничния подема, въз основа на които са направени изводи и препоръки, необходими за практическата реализация.

ARE EFFECTIVE A METHOD FOR INCREASE IN HEIGHT OF RISE OF DRUM-TYPE MINE ELEVATING INSTALLATIONS

Ilija Iochev

"Rudmetal" AD, 4960 Rudozem, Bulgaria

ABSTRACT. In the report the short review of possible methods for increase of height of rise for some types of mine elevating installations is made. The method is considered we will put for installations working with two skips. Through this method it is possible to achieve about two times of increase of height of carrying. In the report are deduced analytical dependences, which are based the theory of mine elevating installations. On their bases conclusions and recommendations about practical the method appendix are drawn.

Увод

В процеса на експлоатацията съпроводена с изземване на полезните изкопаеми, минните предприятия все повече навлизат в дълбочина. В подземните мини този процес често води до изчерпване на възможностите на наличните подемни уредби да осигурят извоз на хора и товари от необходимата дълбочина.

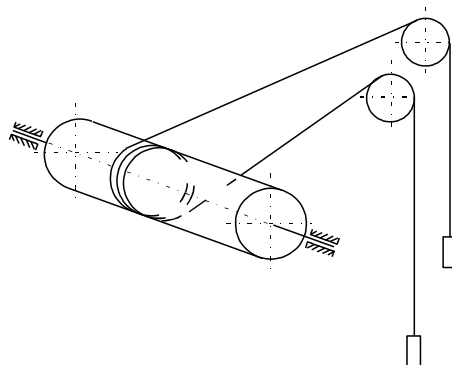
Възниква необходимост от подмяна или реконструиране на рудничните подемни уредби (РПУ). Вариантът, при който се разширяват възможностите на съществуващите РПУ е икономически ефективен, а за неговата реализация са необходими минимални капиталовложения. Някои от възможните начини за увеличаване на височината на подема са следните:

- преработване на барабанна подемна машина в машина с „бягащи“ навивки на триене;
- преминаване към двуслойно или многослойно навиване на подемните въжета – също при барабанните машини;
- вариант за двускипова подемна уредба, при който двата скипа се окачват на въжета с различна дължина.

Първият вариант е разгледан подробно в Йочев (2002). За разлика от обикновеното закрепване на подемните въжета към реборда на барабана на машината и осигуряване на няколко (3-5) контролни и неработни намотки върху барабана, в модернизираната машина

краищата на бягащите намотки се свързват към подемните съдове - фиг.1. При това се осигурява еднослойно навиване на барабана, икономия на една пълна дължина, увеличаване на товароподемността и производителността на подемната уредба.

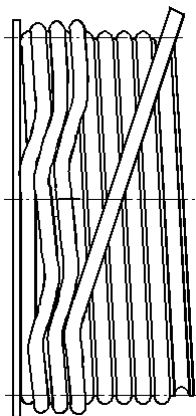
За първи път по този начин в отрасъла през 1990 год. е модернизирана подемна машина БМ 3000/2030-4А, в Донбас, Украйна.



Фиг. 1. Преработване на барабанна подемна машина в машина с „бягащи“ навивки на триене

Вариантът на двуслойно навиване на подемните въжета – фиг. 2 (Йочев, 2002) е лесно изпълним в практиката, но е необходимо да се извърши монтаж на клиновидни елементи при прехода от първия към втория слой на навиване. Това е задължително при двуслойно навиване и

подем на хора и хора и товар (Правилник по безопасност на труда, 1969). Освен това, с цел подобряване на начина на навиване на въжетата върху барабаните е необходимо да се извърши оптимизиране на ъглите на девиация.



Фиг. 2. Преминаване към двуслойно (многослойно) навиване на подемните въжета

В настоящия доклад е изложен последния от изброените по – горе варианти. Голямо негово предимство е, че при реализирането му е възможно да се постигне почти двойно увеличаване на височината на подем, която може да стигне приблизително до 1800 m.

Същност на метода

При реализиране на този метод е нужно двата скипа се окачат на подемни въжета с различна дължина (фиг. 3) така, че скип 2 да се движи само в долната, а скип 1 - само в горната половина от шахтата. Дължината на подемното въже за скип 1 съответствува на половината от височината на подем H_0 , а работната му част, навивана върху барабана е равна на половината от тази дължина, т. е. на $H+h_p$. Височината h_p е необходима за претоварването от единия скип на другия.

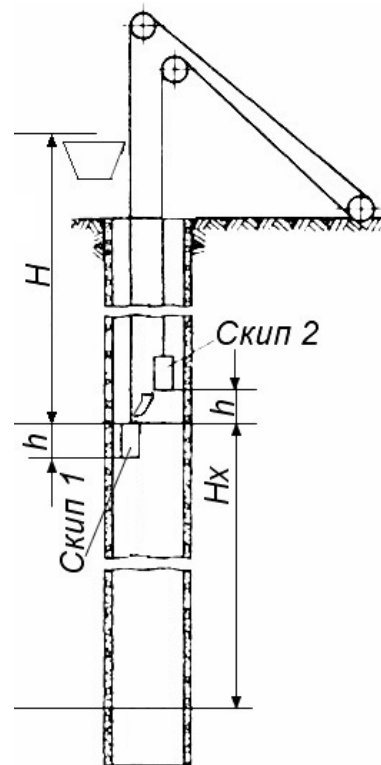
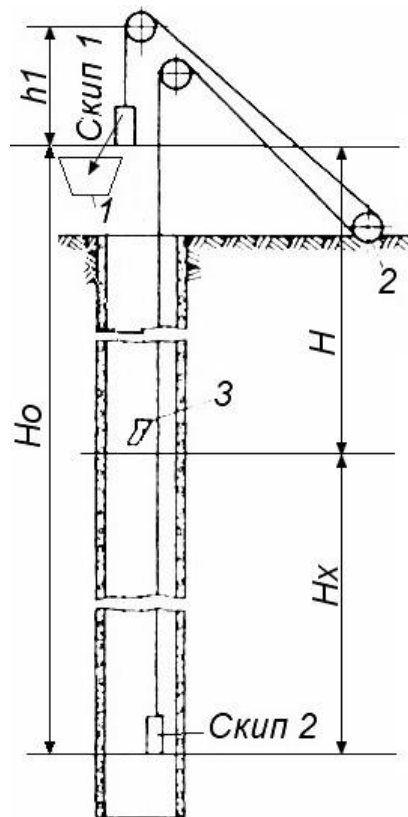
Дължината на подемното въже на скип 2 съответства на пълната височина на подем H_0 , а работната част на това въже навивана върху барабана също е равна на $H+h_p$. При такова окачване на двата скипа се осигурява височина на подем, достигаща приблизително два пъти дължината на въжето, което е възможно да се навие на барабана.

За претоварване на материала от скип 2 в скип 1 в шахтата е необходимо да се монтира възел за претоварване. На фиг. 4 е показано примерно устройство на такъв възел, работещ по следния начин:

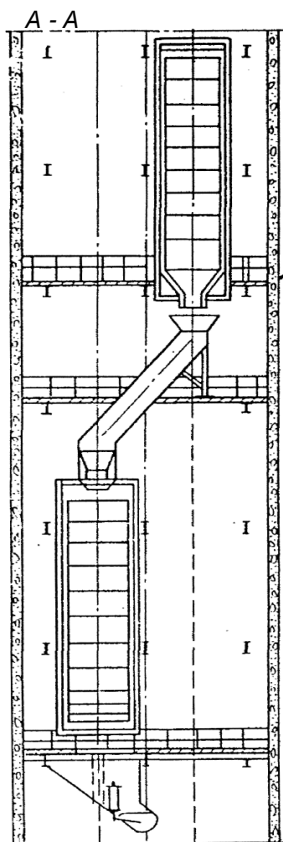
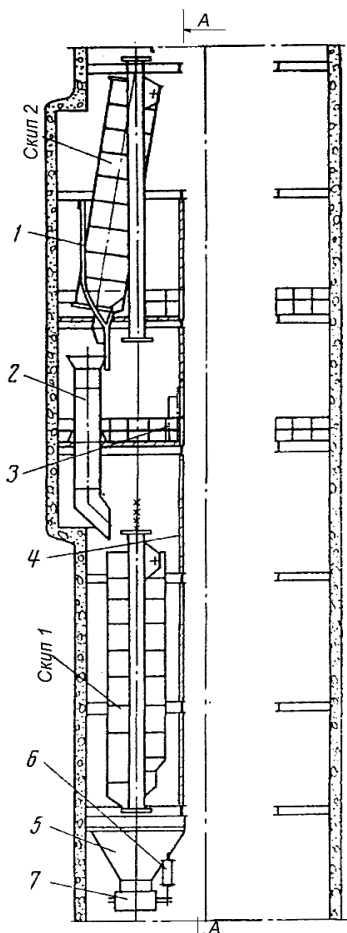
Пристигащият от долу натоварен скип навлиза в разтоварващите криви 1, които отклоняват дъното му над улея 2. През това време пристигащия отгоре празен скип 1 застава под улея 2. Задейства се дънния затвор на скип 2 и неговия товар се претоварва в скип 1. За улавяне на разсипания материал в процеса на претоварване са предвидени защитното ограждение 4 и бункера 5, който е снабден със секторен затвор 7 и задвижващ силов цилиндър 6. Тук H е височината на подем преди реконструкцията на подемната уредба, а H_x е увеличението на тази височина. Както беше споменато H_x може да достигне максимум до стойността на H .

При преминаване на по-долен хоризонт следва да бъде преместен и възела за претоварване на скиповете в шахтата.

При необходимост от намаляване на неуравновесената част на РПУ е възможно да се използва уравниващо въже с подходящо подобрена линейна маса.



Фиг. 3. Схема на двустепенна скипова подемна уредба с една подемна машина монтирана на повърхността: 1 - приемен бункер, 2 - барабан на подемната машина, 3 - бункер за претоварване на материала от единия скип в другия.



Фиг. 4. Възел за претоварване на скипове в шахтата: 1 - разтоварни криви, 2 - улей, 3 - площадка за обслужване, 4 - защитно ограждение, 5 - бункер за улавяне на разсипания материал, 6 - силов цилиндър, 7 - затвор.

В различни литературни източници са описани двустепенни схеми на РПУ с една подемна машина, монтирана на повърхността и с последователно окачени подедни съдове, (по два на всеки клон на подемното въже). Тази схема, независимо от възможностите ѝ за увеличаване на височината на подем, не е получила практическо приложение поради някои съществени недостатъци, произтичащи от следните обстоятелства:

- необходимост от няколко на брой междинни бункери;
- твърде тежка уредба с твърде сложно обслужване и управление;
- мъртвото тегло на два последователно окачени скипа е по-голямо в сравнение с теглото на един скип, което намалява теглото на полезния товар при зададена дълбочина на подем или възможната дълбочина на подем при зададена товароподемност на скипа;
- усложнява се конструкцията на скиповете от изискването за окачване под тях на подемно въже с втория подемен съд.

Описваната подемна уредба в настоящия доклад няма посочените недостатъци.

Използването на обикновени скипове с дънно разтоварване (по един за всяка степен на подем), а също така сравнително простата конструкция на възела за претоварване в шахтата, без извършване на допълнителни машинни работи и монтаж на междинни подземни бункери с дозатори, правят тази РПУ практически напълно приложима.

Контрол върху процеса за претоварване на материала от единия на втория екип е възможно да се осъществява от повърхността с помощта на промишлена телевизионна уредба. Съвременните технически средства за автоматичното управление и контрол осигуряват надеждна работа на всички възли за двустепенна скипова РПУ.

Описаната схема на РПУ е възможно да намери широко приложение на шахти с неголяма и средна производителност, когато като лимитиращ фактор се явява не зададената производителност, а височината на подем.

Направените изчисления показват, че при височина на подем в диапазона от 1100 -1800m при използване на обикновени стандартни едновъжени РПУ е възможно да се достигне производителност по описаната схема в границите от 20хил.т. до 800 хил.т. полезно изкопаемо за година.

Това в много случаи позволява да се решат задачите за отработване на полезните изкопаеми на големи дълбочини без съществени разходи за реконструкцията.

Необходими изчислителни и настроечни дейности при прилагане на метода

При прилагане на изложения в настоящия доклад метод се увеличава дължината на подемното въже, на което е окачен скип 2 с Нх съгласно обозначенията на фиг. 3. В резултат на това се налага да се извършат определени проектни изчисления.

Определяне на максималния окачен товар на клона на въжето на скип 2 $Q_{СК2}$ и изчисляване на коефициента на сигурност K_C на същото

$$Q_{СК2} = Q_{М.СК2} + Q_{П.СК2} + p(H + h' + H_X), N \quad (1)$$

където $Q_{М.СК2}$ е мъртвото (собственото) тегло на скип 2, N;
 $Q_{П.СК2}$ – полезното тегло на скип 2, N;
 p – линейно тегло на подемното въже, N/m;
 H – максималната височина на подем преди реконструкцията на подемната уредба, m;
 h' – височината от оста на направляващите шайби до нивото на разтоварване на скип 1, m;
 $H_X \leq H$ – увеличената височина на подем, m.

$$K_C = \frac{Q_P}{Q_{СК2}} \quad (2)$$

където Q_P е разкъсващата сила на въжето, N

Получената стойност на K_C се сравнява със стойностите лимитирани от нормативните документи (Правилник по безопасност на труда, 1969) за съответните случаи на подем.

Определяне на окачения товар действащ върху въжето на скип 1 – $Q_{СК1}$:

$$Q_{СК1} = Q_{М.СК1} + Q_{П.СК1} + p(H + h'), N \quad (3)$$

където $Q_{М.СК1}$ е мъртвото (собственото) тегло на скип 1, N;
 $Q_{П.СК1}$ – полезното тегло на скип 1, N.

Определяне на максималната статична разлика $T_{МАХ.СТ}$ между товарите действащи в двата клона на въжетата

Определя се като разлика от изразите (1) и (2), като най-тежък случай имаме при потегляне на скип 2 от най-долен хоризонт пълен и съответно скип 1 от най-горен хоризонт празен:

$$T_{МАХ.СТ} = [Q_{М.СК2} + Q_{П.СК2} + p(H + h' + H_X)] - (Q_{М.СК1} + ph'), N \quad (4)$$

Ако приемем, че $Q_{М.СК2} = Q_{М.СК1}$, $Q_{П.СК2} = Q_{П.СК1}$ и $H = H_X$ след като извършим съответните преобразования получаваме:

$$T_{МАХ.СТ} = Q_{П.СК} + 2pH, N \quad (5)$$

Изчислителна проверка на възможностите на спирачната система на съществуващата подемна машина работеща при нови експлоатационни товари

Включва следните основни моменти:

Изчисляване на момента на предпазните спирачки при издигане или спускане на изчисления товар – M_1

$$M_1 \geq 3M_{СТ} \quad (6)$$

където $M_{СТ}$ е максималният статичен момент, определен по формулата:

$$M_{СТ} = T_{МАХ.СТ} \cdot R_{ОН}, N.m \quad (7)$$

където $R_{ОН}$ е радиусът на органа на навиване, m.

Изчисляване на момента M_2 на предпазната спирачка при изключване на свободно поставения на вала барабан за регулиране

При самостоятелно задвижване на спирачката за всеки барабан:

$$M_2 \geq 1,2.M_{ПР}, N.m \quad (8)$$

При общо задвижване на спирачката за всеки барабан:

$$M_2 \geq 2.M_{ПР}, N.m \quad (9)$$

където $M_{ПР}$ е статичния момент на празния клон за всеки един от барабаните, но в случая на клона на скип 2 като по-натоварен:

$$M_{ПР} = Q_{М.СК2} + p(H + h' + H_X), N.m \quad (10)$$

Изчисляване на предпазния спирачен момент при спускане на изчисления товар M_3

Необходимо е да бъде спазено изискването, закъснението да не е по-малко от 1,5m/s². Предполагаме, че подемната уредба спуска товар (чрез специално устроено претоварващо устройство), двата скипа имат еднакви мъртви и полезни тегла и $H_X=H$. Спирачната сила е най-голяма в края на спускането – въпроса е разгледан подробно в Ковачев (1990):

$$M_3 \geq [(2-k)Q_{П.СК} + 2pH + 1.5m_0]R_{ОН}, N.m \quad (11)$$

където k е коефициентът отчитащ вредните съпротивления при движение на подемната уредба ($k=1,15$ за скипови РПУ);

m_0 - приведената маса на всички движещи се части на подемната уредба към окръжността на навиване.

Изчисляване на предпазния спирачен момент при издигане на окачения товар M_4

Необходимо е да бъде спазено изискването, закъснението да не е по-голямо от 5m/s². Подемната уредба издига товар, а спирачната сила е най – малка в началото на подема. Отново предполагаме, че двата скипа имат еднакви мъртви и полезни тегла и $H_X=H$:

$$M_4 \leq (5m_0 - kQ_{П.СК} - 2pH)R_{ОН}, N.m \quad (12)$$

Допълнителни изчисления

Необходимо е още да бъдат изчислени стойностите на следните параметри:

- Производителността на подемната уредба – обикновено намалява около четири пъти в сравнение с тази преди реконструкцията на РПУ;
- Спирачният момент на работната спирачка;
- Броят на спирачните тежести на предпазната спирачка;
- Мощността на главния електродвигател.

Извършване на изпитание на спирачната система на подемната машина работеща при новите натоварвания

Подобен въпрос е разгледан в Йочев и Янева (2004). Извършва се чрез осцилографиране на процеса на спиране, при което опитно се определят стойностите на:

- времето за празен ход на спирачката;
- времето за сработване на спирачката;
- фактическата стойност на спирачното закъснение при сработване на предпазната спирачка при спускане на изчисления товар;
- фактическата стойност на спирачното закъснение при сработване на предпазната спирачка при издигане на изчисления товар.

Изводи

При необходимост от увеличаване на височината на подем на РПУ с два скипа е възможно да се приложи метода изложен в

настоящия доклад. Негови основни предимства са простотата на реализиране и ниската стойност на капиталните вложения.

При прилагане на този метод е необходимо да се извършат необходимите изчислителни и настроечни дейности представени по-горе.

Литература

Йочев, И. Щ. 2002. Изследване на състоянието и избор на решение за модернизация на рудничните подемни уредби в мини „Горубсо“. - Дисертационен труд. С., МГУ „Св. Ив. Рилски“, 100 – 102.

Йочев Илия, Антоанета Янева. 2004. Изпитване на работоспособността на спирачната система на руднична подемна уредба. -Год. МГУ „Св. Ив. Рилски“, т. 47, св III, 13-16.

Ковачев, В. М. 1990. *Руднични подемни уредби*. С., Техника, 133 – 137.

Правилник по безопасност на труда при разработване на рудни и нерудни находища по подземен начин /В-01-02-04/ 1969. С., Техника.

Янева, А. Ил., Н. С. Переновски. 2003. *Ръководство за упражнения по руднични подемни уредби*. С., МГУ „Св. Ив. Рилски“ , 81–88.

Препоръчана за публикуване от Редакционен съвет

ИЗПОЛЗВАНЕ НА ЦЕНТРОБЕЖНИ ПОМПИ КАТО ТУРБИНИ В МИННИТЕ ПРЕДПРИЯТИЯ

Илия Йочев

"Рудметал" АД, 4960 гр. Рудозем

РЕЗЮМЕ. В доклада е изследвана възможността за използване на стандартни помпи като турбини. В минните предприятия често се създават условия за изтичане на вода от по-високи към по-ниски хоризонти. Енергията на тази вода поради различни причини остава неизползвана. Посредством стандартни помпи работещи в турбинен режим този проблем се решава с минимални капиталовложения. Става възможно изграждането на мини и микро водни електрически централи. В доклада е показано, че при определени условия помпите могат да работят като турбини с достатъчно висок КПД.

USING OF CENTRIFUGAL PUMPS AS TURBINES IN THE MINING ENTERPRISES

Ilija Iochev

„Rudmetal” AD, 4960 Rudozem, Bulgaria

ABSTRACT. In the report the variant acquisition of standard pumps as turbines is investigated. In mining the enterprises are often created conditions for course of water with top on the bottom horizons. For various reasons energy this water do not use. This problem can a life is solved by means of standard pumps working as turbines about the minimum expenses. On mining the enterprises it is possible will construct small hydraulic power plants. In the report it is shown, that pumps can work as the turbine with high efficiency.

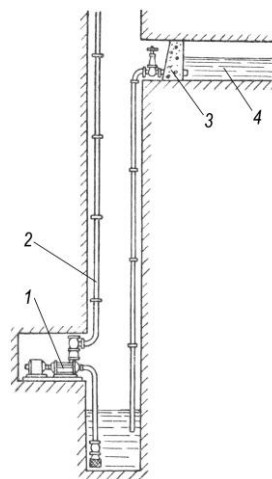
Въведение

Една от основните дейности съпровождаща добива на полезни изкопаеми в съвременните минните предприятия е рудничния водоотлив. Обикновено водата се акумулира във т. нар. водосборници, които в зависимост от избраната схема на водоотлив са разположени на най-ниския или на няколко хоризонта. По този начин са създадени условия за протичане на немалки количества вода ($0,05 - 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$) при височини (наричани още падове) $50 - 250 \text{ m}$. Очевидно тази вода притежава енергия, която най-често не се използва.

В днешно време, в условие на недостиг на енергийните източници, въпросът свързан с производството на електрическа енергия от възобновяеми източници (каквото е водата) е особено актуален и екологично целесъобразен.

На фиг. 1 е показана схема на водоотлив на подземен рудник, при която водата се акумулира в камера 4 (стара галерия) с помощта на преградната стена 3. В нощните часове, посредством шибъра монтиран към преградната стена, водата се пропуска в смукателната шахта, а от там чрез помпения агрегат 1 и напорния тръбопровод 2 се изпомпва на повърхността. Това решение е продиктувано от необходимостта изпомпването на рудничната вода да става по възможност само в нощните часове, когато цената на електроенергията е значително по-ниска. Енергията на спускащата се вода

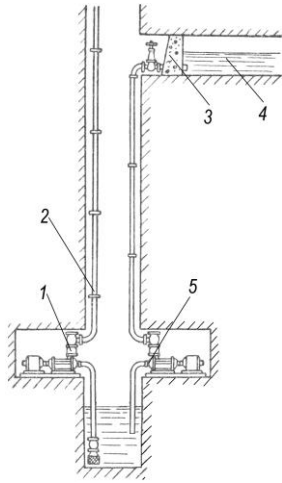
не се оползотворява. За да се избегне този факт са възможни следните варианти:



Фиг. 1. Схема на рудничен водоотлив: 1 – помпен агрегат, 2 – напорен тръбопровод, 3 – преградна стена, 4 – водосъбирателна камера.

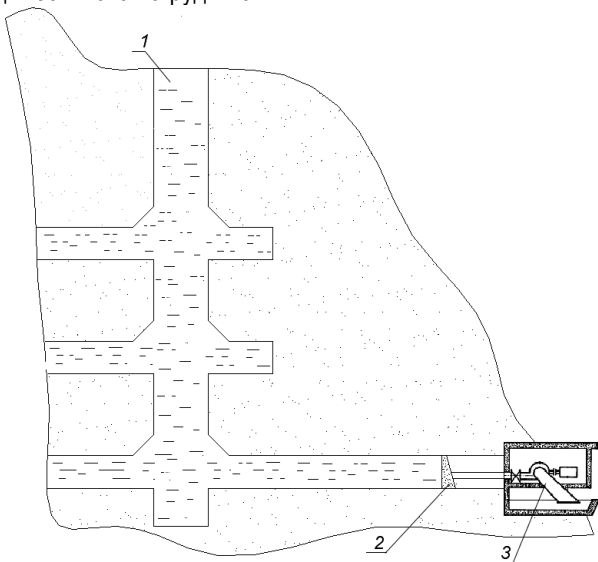
- тръбопроводът, по който се спуска водата се свързва към смукателния фланец на допълнителен помпен агрегат, като енергията, която той ще изразходва ще е приблизително равна (при равни дебити) на разликата от тази на помпен агрегат 1 и енергията на падащата вода;

- тръбопроводът, по който се спуска водата се свързва към турбинен агрегат – фиг. 2, който ще произведе електроенергия съответстваща на дебита и напора на падащата вода – фиг 2.



Фиг. 2. Схема на рудничен водоотлив с използване на помпен и турбинен агрегат: 1 – помпен агрегат, 2 – напорен тръбопровод, 3 – преградна стена, 4 – водосъбирателна камера, 5 - турбинен агрегат.

Определено време след преустановяване на функционирането на даден подземен рудник, същият се запълва изцяло с вода, чиято енергия е целесъобразно да се оползотвори чрез монтиране на турбинен агрегат в определена напорна част. На фиг. 3 е показана схема на ликвидиран рудник, чието отработено пространство е запълнено с руднична вода. Турбинният агрегат ще работи с дебит приблизително равен на водопритока преди ликвидиране на рудника и напор съответстващ на дълбочината на рудника.



Фиг. 3. Ликвидиран подземен рудник: 1 – запълнено с вода пространство от минни изработки, 2 – преградна стена, 3 – турбинна камера с турбинен агрегат.

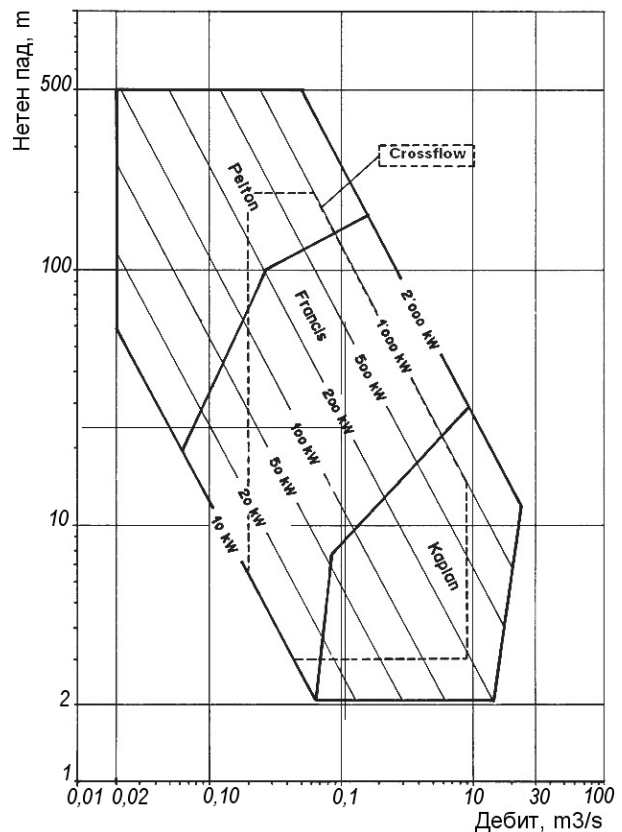
Съществуващите условия за производство на електроенергия в действащи и ликвидиращи рудници са такива, че получените мощности са в границите 10 – 250 Kw. В сравнение с електроцентралите експлоатирани в днешно време, тези мощности са малки и характерни за мини и микро ВЕЦ (водно електрическа централа).

Условия необходими за работа на центробежните помпи като турбини

Една от основните задачи при изграждане на мини и микро ВЕЦ е свързана с определянето на типа и параметрите на турбинното оборудване. На фиг. 4 е показана схема за избор на типа на турбините в зависимост от нетния (чистия) напор и дебита на водата. Подобен въпрос е разгледан в Chapallaz (2007), както и в Грозев и Обретенов(1991).

По своята същност центробежната помпа работеща в турбинен режим представлява турбина тип Францис без направляващи лопатки на входа на работното колело, служещи за регулиране на режима на работа. Ето защо, приложението на центробежните помпи в турбинен режим в общи линии се припокрива с това на турбините тип Францис, но за дебита до около $1\text{ m}^3/\text{s}$.

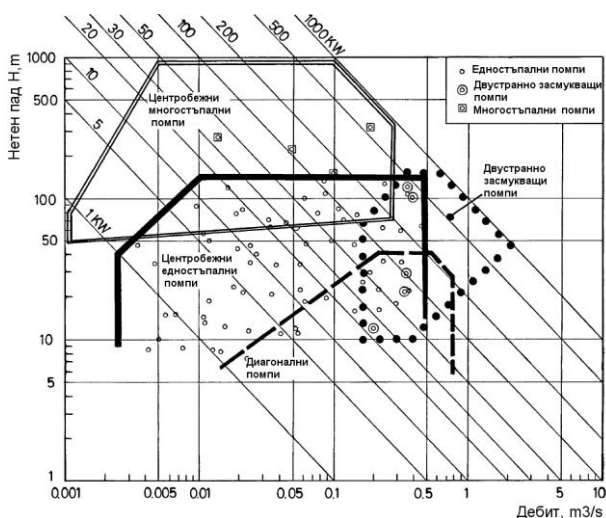
Известен е принципа за обратимост на всяка лопаткова хидромашина (турбомашина) (Грозев и Обретенов 1991), т.е. тя може да работи както като помпа, така и като турбина. Освен това помпеното работно колело е приспособено да работи в турбинен режим, отколкото турбинното в помпен.



Фиг. 4. Избор на типа на турбината за конкретни условия на работа

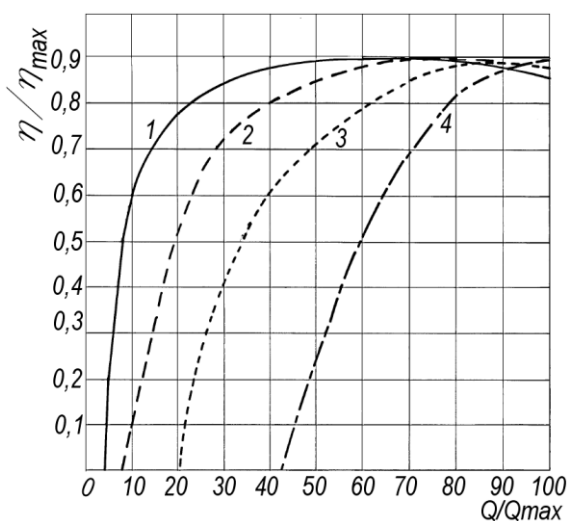
На фиг. 5 е показано приложението на различни типове помпи в турбинен режим. Подобен резултат е публикуван в Shafer (1981). Трябва да бъде отбелязано, че в практиката се използват като турбини най-вече едностъпалните едно и двойноствъпални центробежни помпи, поради простото си устройство и лесна поддръжка. Най-често получаваните мощности от помпите работещи като турбини са в границите до 500 Kw при нетни падове от 5 – 90 m в ст. и дебита $0,01 - 1$

m³/s. Приложението на центробежни многостъпални помпи е ограничено поради сложното им устройство и трудните им поддръжжани и ремонт.



Фиг. 5. Избор на типа на помпите работещи като турбини за конкретни условия на работа

На фиг. 6 са изобразени зависимостите на КПД от дебита за различни типове турбини и помпи работещи като турбини. Подобни резултати са публикувани в Shafer и Agostinelli (1981). От фигурата се налага извода, че помпите могат да работят в турбинен режим с достатъчно висок КПД, който успешно се конкурира със стандартните типове турбини. Това твърдение, обаче е вярно за твърде тесни граници на дебитното поле. Вижда се, че при по-съществена промяна на дебита от проектните стойности, КПД на помпата в турбинен режим рязко намалява. Този факт налага ограничение на използването на помпи като турбини само за тези участъци, при които водният дебит има относително постоянен характер. Водният дебит в руднични условия (фиг. 2 и фиг. 3) е постоянен или лесно може да се поддържа в необходимите граници в рамките на едно денонощие.



Фиг. 6. Зависимости между КПД и дебита на различни типове турбини: 1 – Пелтон турбина, 2 – Каплан турбина, 3 – Францис тирбина, 4 – помпа в турбинен режим.

Основната причина за употребата на центробежни помпи като турбини е високата цена на проектиране и

изработване на класически турбини за конкретни условия. Когато получените мощности са малки (до 500 Kw) използването на турбини е икономически необосновано, а срокът за откупуването на съоръжението е много голям.

В днешно време са разработени и се произвеждат множество типоразмери помпи, които покриват всички изисквания на промишлеността. В действителност може да се подбере стандартна помпа за всякакви съчетания на напор и дебит. Това серийно производство на помпи прави себестойността им значително по-ниска от тази на турбините и ги превръща в сериозна алтернатива за малки мощности.

Основни зависимости при помпите работещи в турбинен режим

Основните параметри на помпа работеща като турбина се различават съществено от тези при помпа работеща като помпа. Заводите производители дават в техническите характеристики данни за помпи, а не за такива работещи в турбинен режим. Ето защо е необходимо при използване на центробежните помпи като силови машини да бъдат извършени някои проектни изчисления, които обуславят ефективната работа на машината.

Изразходваната мощност P_p на помпата работеща в помпен режим се определя съгласно израза:

$$P_p = \frac{\rho \cdot g \cdot Q_p \cdot H_p}{\eta_p}, W \quad (1)$$

където η_p е коефициентът на полезно действие на помпата работеща в помпен режим;

ρ - плътността на водата, kg/m³;

g - земното ускорение, m/s²;

Q_p - обемният дебит на помпата работеща в помпен режим, m³/s;

H_p - напорът на помпата работеща в помпен режим, получен като сума от геодезичната височина и загубите в тръбопровода, m.

Мощността P , която ще се получи на вала на помпа работеща в турбинен режим се определя по формулата:

$$P = \eta_T \cdot \rho \cdot g \cdot Q_T \cdot H_T, W \quad (2)$$

където η_T е коефициентът на полезно действие на помпата работеща в турбинен режим, приблизително равен на този на помпата работеща в помпен режим;

ρ - плътността на водата, kg/m³;

g - земното ускорение, m/s²;

Q_T - обемният дебит на помпата работеща в турбинен режим, m³/s;

H_T - напорът на помпата работеща в турбинен режим, получен като разлика от геодезичната височина и загубите в тръбопровода, m.

Под специфична честота n_q на въртене на помпата в турбинен режим (този въпрос е разгледан в Shafer и Agostinelli 1981) се разбира честотата на въртене на помпа работеща в турбинен режим при напор 1m и дебит $1\text{m}^3/\text{s}$ и се определя съгласно израза:

$$n_q = \frac{n_T \sqrt{Q_T}}{H_T^{\frac{3}{4}}} \quad (3)$$

където n_T, min^{-1} е честотата на въртене на помпата в турбинен режим. При синхронен генератор това е синхронната честота, а при асинхронен генератор – синхронната честота завишена с 2-3% .

Специфичната честота на въртене N_s на помпа работеща в турбинен режим при напор 1m и освобождаваща мощност $P = 1\text{kW}$ се определя съгласно израза:

$$N_s = n_T \frac{P^{\frac{1}{2}}}{H_T^{\frac{5}{4}}} \quad (4)$$

Специфичната скорост v се определя по формулата:

$$v = \omega \frac{(Q_T / \pi)^{\frac{1}{2}}}{(2 \cdot g \cdot H_T)^{\frac{3}{4}}} \quad (5)$$

където ω е ъгловата скорост, rad/s .

При прилагане на помпи като турбини са в сила следните зависимости:

- $N_s = 15-300$;
- $n_q = 5-100$;
- $v = 0,032 - 0,634$.

Допустимата смукателна височина H_c на помпата в турбинен режим е важен параметър защото е свързан с явлението кавитация – фиг. 7. Изчислява се съгласно зависимостта (Viana, 1987):

$$H_c \leq 10 - 0.00122 \cdot A - 0,025(1 + 10^{-4} \cdot n_{qA}^2) H_T, \text{m} \quad (6)$$

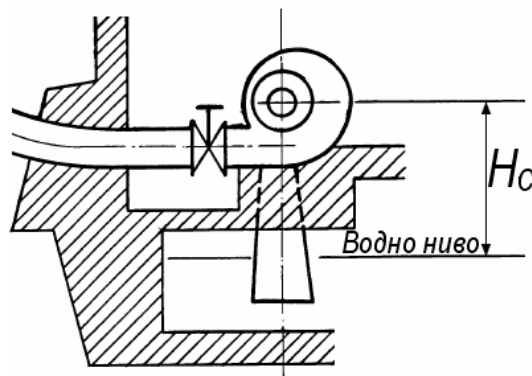
където A е надморската височина на мястото, където работи турбината, m;

n_{qA} - специфична честота, определяща се съгласно израза:

$$n_{qA} = \frac{n_T \cdot \sqrt{Q_T}}{(g \cdot H_T)^{\frac{3}{4}}} 10^3 \quad (7)$$

където n_T, s^{-1} е честотата на въртене на помпата в турбинен режим, но за разлика от зависимости (3) и (4) е с друга дименсия.

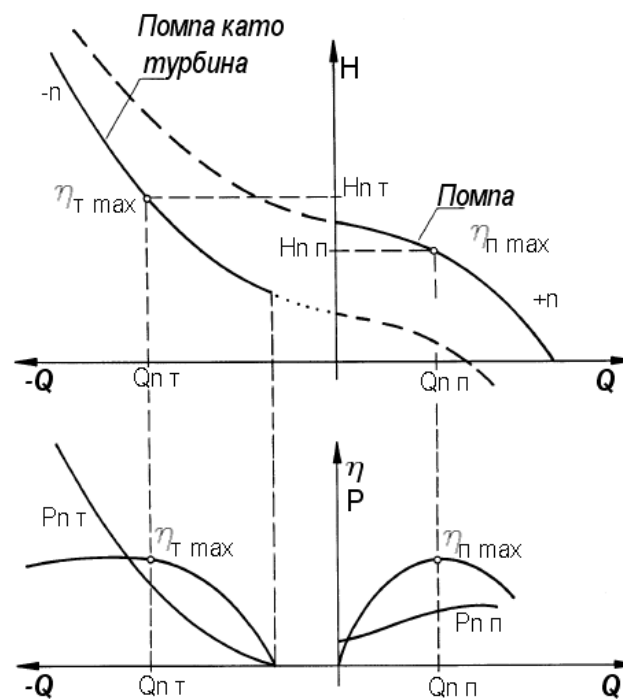
Съществува подобна зависимост за определяне на смукателната височина на помпата работеща като турбина (Charallaz, 1992), която дава приблизително същия резултат.



Фиг. 7. Определяне на допустимата смукателна височина на помпа работеща като турбина

Избор на помпа за работа като турбина при конкретни условия

Задачата се свежда да се определят каталожните параметри на центробежна помпа по зададени дебит Q_T и нетен напор H_T за определен участък за работа на турбината. На фиг. 8 са показани характеристики на центробежна помпа работеща като помпа и като турбина (Charallaz, 1995).



Фиг. 8. Характеристики на центробежна помпа работеща като помпа и като турбина

След анализ на характеристиките илюстрирани на фиг. 8 се налагат следните изводи:

- При равни обороти за помпата и турбината, напорът H , дебитът Q и мощността P на помпата работеща в турбинен режим са по-големи от тези в помпен режим;
- КПД на помпа работеща в турбинен режим е равен на този в помпен режим.

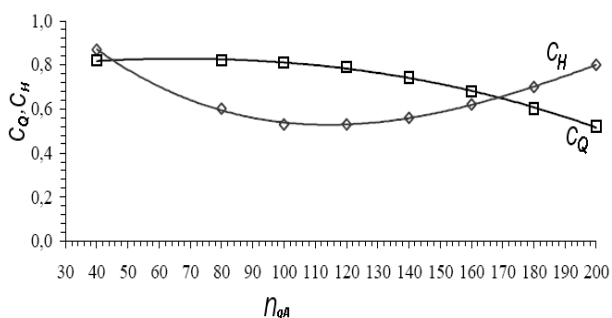
Понастоящем съществуват различни теории за определяне на каталожните параметри на помпа работеща в турбинен режим. Те се различават по своя алгоритъм, но дават приблизително еднакви резултати. Според една от теориите (Viana, 1987) са в сила следните зависимости:

$$H_{II} = c_H \cdot H_T \quad (8)$$

$$Q_{II} = c_Q \cdot Q_T \quad (9)$$

където c_H е коефициент на напора определящ се съгласно фиг. 9;

c_Q - коефициент на дебита, който също се определя съгласно фиг. 9.



Фиг. 9. Определяне на коефициента на напора и коефициента на дебита в зависимост от специфичната честота n_{qA} определена съгласно зависимост (7) (Viana, 1987).

Изчислените за избор на помпата напор и дебит съгласно зависимостите (8) и (9) биха били достатъчни за избора на помпа за работа като турбина от заводски каталог, при положение, че помпата в нормални условия се върти със синхронна или надсинхронна честота. Известно е обаче, че заводите производители на помпи изчисляват и окомплектоват произвежданите от тях стандартни помпи с асинхронни двигатели, които се въртят с честота малко по-ниска от синхронната. С други думи помпа, предназначена да работи с асинхронна честота ще увеличи дебита и напора си при по-високата синхронна или надсинхронна честота. Ето защо е необходимо напорът и дебитът определени съгласно (8) и (9) да се занижат като се преизчисляват съгласно известните зависимости:

$$H_{ПК} = \left(\frac{n_{ПК}}{n_T} \right)^2 \cdot H_{II}, m \quad (10)$$

$$Q_{ПК} = \frac{n_{ПК}}{n_T} \cdot Q_{II}, m^3 / s \quad (11)$$

където $H_{ПК}$ е каталожният напор на помпата изчислявана за работа като турбина;

$n_{ПК}$ – каталожната честота на въртене на помпата изчислявана за работа като турбина;

$Q_{ПК}$ – каталожният дебит на помпата изчислявана за работа като турбина.

По получените стойности на напора и дебита съгласно зависимостите (10) и (11) се избира по заводски каталог центробежната помпа за работа като турбина.

Резултати и изводи

След извършване на анализ на данните изложени в настоящия доклад се налагат следните изводи:

- В минните предприятия нерядко съществуват условия за изграждане на малки ВЕЦ, което има икономически и екологичен ефект свързан с производството на електроенергия от възобновяеми източници;
- В условия на малки мощности ефективен вариант за турбинно оборудване е използване на центробежни помпи като турбини;
- Центробежните помпи при работа в турбинен режим увеличават значително напора, дебита и следователно мощността си в сравнение с помпения режим на работа;
- При правилно оразмеряване на центробежни помпи като турбини се постига висок КПД на работа в турбинен режим, който е равен или незначително по-малък от този при помпен режим;

Трябва да бъде отбелязано, че в периода 1992-1999г. в „Горубсо Лъки“ АД са изградени две малки ВЕЦ при които като турбини работят центробежни помпи тип „550 Д 22“ и „300 Д 70“.

През 2006 г. в „Горубсо Златоград“ АД е въведена ВЕЦ с три турбинни агрегата съставени от стандартни центробежни помпи „450Д32“ и асинхронни двигатели.

Независимо от своята относително малка мощност 300 – 400 kW, тези централи са съществено приходно перо за минните предприятия, чиято собственост са те.

Литература

- Грозев Г. И., В. С. Обретенов. 1991. Хидро и пневматични съоръжения. С., Техника.
- Chapallaz J. M. 1995. Petites Centrales Hydrauliques. <http://www.smallhydro.ch/web/francais/biblio/publiPacer.html>
ISBN 3-905232-54-5
- Chapallaz, J. M., P Eichenberger, G Fischer. 1992. Manual on Pumps Used as Turbines; MHPG Series, Vol. 11, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Germany.
- Shafer L., A. Agostinelli. 1981. Hydraulic pump in reverse makes a good low-cost hydroturbine. McGraw-Edison Co, USA.
- Viana, A.N.C. 1987. Comportamento de Bombas Centrífugas Funcionando como Turbinas Hidráulicas, Dissertação de Mestrado EFEI, Itajubá.

Препоръчана за публикуване от Редакционен съвет

ОПТИМИЗАЦИЯ НА ПРОЦЕСА РЯЗАНЕ НА СКАЛНИ МАТЕРИАЛИ С ДИАМАНТЕНИ ДИСКОВЕ

Борис Борисов, Стефан Ангелов, Николай Петков

Технически университет – София, факултет Автоматика, 1000 София, ashmodean_@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Обработката на скални материали включва процеси, консумиращи значителна електроенергия. Оптимизацията на работните режими за постигане на максимална производителност с конкурентно качество при намалена енергийна консумация е задача с определена актуалност. В доклада, на базата на анализ на аналитични зависимости от теорията на рязането, се предлага методология за избор на оптимални електромеханични параметри (скорости, сили, мощности) за режима на рязане. Методологията е приложима при използване на съвременни системи за електрозадвижване и управление на дискови режещи машини.

PROCESS OF ROCKY MATERIALS DIAMOND DISC SAWING OPTIMIZATION

Boris Borisov, Stefan Angelov, Nikolay Petkov

Technical University of Sofia, Faculty of Automatics, 1000 Sofia, ashmodean_@abv.bg

ABSTRACT. The treatment of rocky materials is a process that consumes significant quantity of electrical power. Working regime optimization for maximal productivity and high quality achievement in the condition of reduced energy consumption is a task of great importance and significance. This report offers methodology of choosing of optimal electromechanical parameters like speed, force and power that reflect the mode of sawing, based on the theoretical analysis of analytical saw relations. The methodology can be applied in contemporary electrical drive control systems that contain disc sawing machines.

Въведение

Интензивното развитие на микропроцесорната и силовата преобразователна техники позволиха през последното десетилетие да бъдат създадени на достъпна цена каменно-обработващи машини, удовлетворяващи по-пълно критерия за максимално произведена конкурентна продукция при минимум производствени разходи.

Оптимизацията на работните режими по този, или друг близък на него критерий е била задача винаги актуална, но трудно решима, особено за ранните етапи в развитието на управлението на тези машини, основно поради:

- незадоволителната точност на необходимото за целта математическо описание на физиката на процесите при каменообработката;
- ограниченият обем на експерименталните изследвания, насочени към повишаване точността на често идеализираните в теоретично отношение разглеждания.

Рязането с диамантени дискове е задължителна операция при обработката на скални материали. Неговите показатели за качество при разглеждането му като производствен процес за почти всички използвани технологии са определящи както за производителността, така и за цената на продукта. Прямо функционалните възможности на режещите машини, оптимизацията на режимите практически означава рязането на даден скален

материал да се осъществява със следните, предварително указани параметри:

- конструкция и размери на режещия диск, диаметър $D_d (2R_d)$ [мм], широчина на диамантения сегмент d_d [мм] (дебелина на слоя, когато е непрекъснат);
- дълбочина на рязането H_p [мм];
- периферна скорост на диска V_o :

$$V_o = \frac{\pi \cdot D_d \cdot n_d}{60} \quad [\text{м/сек}] \quad (1)$$

задавана чрез оборотите на диска - n_d [об/мин];

- скорост на хоризонталното подавателно движение V_x [м/мин].

С рязането се задават и линейните размери на скалните материали – дебелина, широчина, дължина. Постоянството в размерите на облицовъчните плочи е определящо за качеството им. Ето защо участващите при рязането спомагателни движения трябва да бъдат оразмерявани и управлявани, като позиционни системи със зададена точност при спиране.

В приложен аспект, интересът на дадена фирма обработваща скалооблицовъчни материали към оптимизацията на режимите на рязане, се свежда до получаване на

указания за облекчен (чрез диаграми, таблици и др.) избор на горепосочените параметри на диска и скоростите на движенията при дадена дебелина на рязането, за даден тип обработван материал. В съвременното производство за добив и обработка на скални материали не е възможно да бъдат получени добри финансови резултати, ако не се отчитат специфичните за процеса на обработка особености на скалния материал. За фирма, работеща в България, най-добре е горните параметри да касаят обработката на масово добиваните мрамори (Струмяни, Илинденци, Копривлен) и варовика от района Враца – Мездра. В търсенето на възможните отговори на поставените въпроси е и целта на предлагания по-долу анализ.

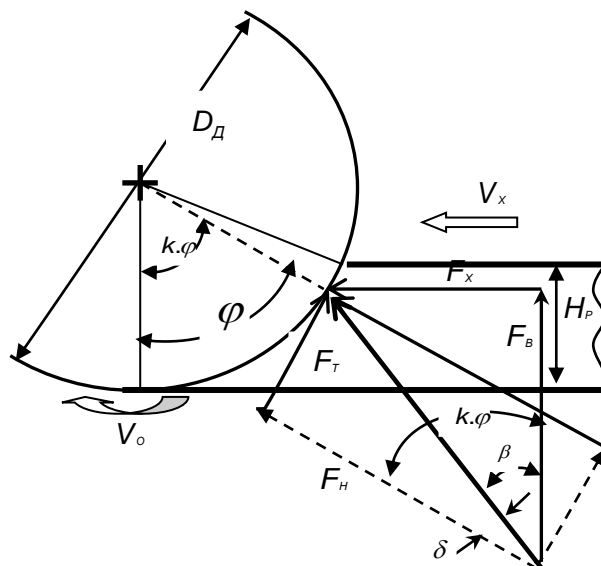
В страни, водещи за каменообработката, (Butter, 1974; Mamalis et al, 1979; Александров, 1979) се появиха и първите резултати от изследователската дейност, с цел оптимизация на режима “дисково рязане” (Yu, 2003; Konstanty, 2002; Denkena et al, 2003; Александров и Мечник, 1997). У нас авторите на публикациите за тази област основно са преподаватели в МГУ “Св. Иван Рилски”, гр. София или техни възпитаници (Мърхов, 1993, 2003; Цветков и Грозева, 2002; и др.). Държавно-финансирано научно-изследователско звено, непрекъснато работещо по проблемите на каменообработката у нас не е имало както в близкото минало, така и в периода след смяна на собствеността. Това е причина за сравнително ограничения брой публикации и научно-приложни разработки у нас. С това се обяснява и чувството на глад в терминологично отношение. Няма добре наложени се понятия, например известната на всеки от тази сфера “фаша” се среща като “лента, ивица” и др. По подобен начин стои и въпроса с английското понятие “slab”, с буквалния превод у нас “слаб”, назовавана в някои източници “голяма плоча” и др.

Авторите на доклада се спират на този въпрос, защото тези понятия са основни при дисковото рязане. При разрязването на слаба се получават фаши, а при тяхното нарязване се получават плочи. Като приемат тези наложени се терминологично понятия, авторите считат за нецелесъобразна работата по подмяната им.

Относно избора на параметрите на диска

На фиг. 1 са показани участващите сили в процеса на рязане: F_T – тангенциална, F_N – нормална, F_x – хоризонтална, F_B – вертикална.

На фиг. 2 е дадено използваното от много автори (Yu, 2003; Konstanty, 2002; Denkena et al, 2003; Xu et al, 2002; Li et al, 2002) идеализирано представяне на обема отнет материал при рязането от едно диамантено зърно. По аналогия с металообработката е прието, че отнетия материал е непрекъснатата стружка с максимална дебелина h_{c_max} .

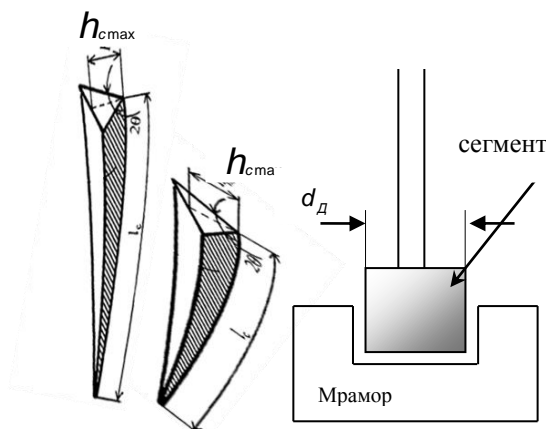


Фиг. 1. Диаграма на силите действащи в процеса на рязане.

Постоянен е стремежа на фирмите производители да подобряват качеството на диамантените дискове и да намаляват цената им. При еднакви други показатели важни за оптимизацията на режима на рязане са параметрите на диска, предмет на избор при покупката му: диаметър D_d и ширина на диамантения сегмент d_d .

Оправдано е желанието на работещите в този отрасъл да режат по-дебел скален материал с по-малък диаметър на диска D_d .

Освен по-ниската покупна стойност на диска и на режещата машина като цяло се намаляват инерционните моменти и сили, което предполага по-добро балансиране на диска и по-малко “биене” при работата му. Обикновено дисковете с по-малък диаметър имат и по-малка ширина на диамантените сегменти (фиг. 2).



Фиг. 2. Иллюстрация на идеализирана стружка сваляна от един диамант и канала срязан в материала от сегментите на диска.

В (Han et al, 2007) експериментално е доказано, че при равни други условия (дебелина на рязането, производителност и др.) при рязане с два пъти по-тънък диск се постига 30% намаление на консумираната електроенергия. Установено е и значително намаление на отношението на тангенциалните сили при рязане с дебел $F_{ТДД}$ и тънък диск $F_{ТТД}$ ($F_{ТДД} = 1.3F_{ТТД}$). Съобщава се също и за намаляване на съотношението на нормалните сили.

Консумираната от двигателя мощност P_d при преодоляване на тангенциалната сила F_T е:

$$P_d = M_d \omega = R_d \cdot F_T \cdot \omega = F_T \cdot V_O \quad [W] \quad (2)$$

където: M_d и ω са съответно момента и ъгловата скорост на двигателя.

Като резултантна съпротивителната сила

$$F_T = F_P + F_{ТРД} + F_{ТРМ} + F_{ИЗХ} \quad [N] \quad (3)$$

където F_P – силата, свързана с разрушаване на скалния материал (същинското рязане);

$F_{ТРД}$ – сила на триене на диамантите с материала;

$F_{ТРМ}$ – сила на триене между работната повърхност и отнетия (разрушения) материал;

$F_{ИЗХ}$ – силата, необходима за изхвърляне на отпадъчния материал извън среза.

В $F_{ТРМ}$ и $F_{ИЗХ}$ се включват и силите, необходими за раздробяване на отпадъчния материал до структурата на познатия ни шлам. Въпреки, че големината на F_P зависи от редица фактори (вид на материала, производителност и др.) съгласно (Александров и др, 1984) тя не превишава 1/5 от F_T . За намаляване на $F_{ТРМ}$ и $F_{ИЗХ}$ е желателно да се реже с по-малка контактна повърхност между диска и материала, при $H_P = const$ означава по-малък диаметър D_d .

Подобен е ефекта и при рязане с къси стружки. При равни обеми на идеализираната стружка от фиг.2 е по-добре да се работи с по-дебели, но къси стружки т.е. увеличено h_{c_max} при намалена дължина L_c .

$$L_c = \varphi \cdot R_d \approx \sqrt{D_d \cdot H_P} \quad [mm] \quad (4)$$

където: φ е ъгъла на контакт между диска и рязания материал (Александров, 1979):

$$\varphi = \arccos\left(1 - \frac{2H_P}{D_d}\right) \quad (5)$$

Съгласно (Xu and Li, 2003) приложната точка на резултантната сила F_P се намира на ъгъл:

$$k\varphi = \delta + \beta = \arctg \frac{F_T}{F_H} + \arctg \frac{F_X}{F_B} \quad (6)$$

Големината на ъглите δ и β изразени съответно с F_T/F_H и F_X/F_B се получават като тригонометрични зависимости от фиг.1.

При зададена производителност

$$Q = V_X \cdot H_P \quad [m^2 / мин] \quad (7)$$

и по-малък диаметър на режещия диск (по-малко L_c) ъгълът φ нараства, което е предпоставка за по-големи стойности на $k\varphi$ и при $k = const$. За предпочитаните по-големи стойности на отношението F_T/F_H (Denkena et al, 2003; Xu and Li, 2003) съответно и δ нараства, което определя като желателно по-големи стойности на $k\varphi$.

Интерес представлява експерименталното потвърждение на това очакване при обработка на различни по свойства материали.

Относно избора на скоростите V_X и V_O

Проникването на диамантените зърна в обработваемия материал, от подавателното движение (скорост V_X) и разрушаването на материала от въртенето на диска (скорост V_O) са двете взаимносвързани действия при диамантено абразивното рязане. Дълбочината на проникване, т.е. дебелината на отнемания материал h_{c_max} , може да се разглежда като индикатор на натоварването, което изпитва диаманта при рязането.

В процеса на рязане редица фактори променят големината на h_{c_max} . Поддържането на $h_{c_max} = const$ е практически нереализуемо, но е желателно измененията в големината му да бъдат в определени граници.

При дадена дълбочина на рязане $H_P = const$ за увеличаване на производителността Q е необходимо да се зададе по-висока скорост на подаване на материала V_X . При това нарастват и F_T и F_H (Xu and Li, 2003; Xu et al, 2002;). Увеличава се дебелината на идеализираната стружка h_{c_max} .

При стойности по-малки от тези от желания диапазон, нормалната сила F_H е недостатъчна за преодоляване на еластичните сили на материала, от тук не следва и разрушаването на структурата му, т.е. няма рязане. Това е процес на триене с голяма стойност на $F_{ТРД}$, свързан със значителна консумация на електроенергия, при който се заоблят режещите ръбове на диамантените зърна, а от там като цяло и режещата способност на инструмента се намалява. Характерни за този режим са големите

стойности на F_T и F_H и малкото им отношение F_T/F_H (Xu and Li, 2003).

При стойности на h_{c_max} по-големи от изпъкването на диаманта се осъществява директен контакт между обработваемия материал и свързката (материалът, свързващ диамантите), а това води до увеличаване на F_{TPM} и до интензивното ѝ износване. Рязането с големи стойности на h_{c_max} е процес, при който диамантените зърна са силно натоварени (голяма стойност на F_T), а това съчетано с намалената задържаща способност на бързо износващата се свързка, предизвиква тяхното изкъртване. Това е режим с голям разход на инструмент. Дискът бързо се изхабява поради факта, че новоразкритите диаманти не могат да компенсират бързо загубените от големите натоварвания режещи диаманти. Показателят “Разход на инструмент” - $C_{и} [m^2/mm]$, използван в литературата (Yu, 2003; Li et al, 2002; Liao and Luo, 1992; Luo, 1996) е реципрочен на показателя “Износоустойчивост”, като се определя от отрязаната площ за единица радиално износване на диска.

Сведена до състоянието на диамантеното зърно, разглежданата в доклада оптимизация означава осигуряване на висока режеща способност при минимално износване на зърната, съчетано с минимум на консумираната енергия. В литературата (Li et al, 2002; Liao and Luo, 1992; Luo, 1995, 1996) този режим се нарича “Free cutting”. Това е ефективен режим на рязане, освободен от присъствието на неоправдано големи сили. При него натоварването на захабените режещи ръбове по диамантените зърна е такова, че те се чупят като създават нови остри. Този процес на обновяване на режещите ръбове е с микро характер и води до бавно износване на диамантите. Степента на износване на свързката отговаря на тази на износването на диамантите. Те се разкриват умерено в процеса на рязане, което ги предпазва от прибързано счупване, т.е. намалява се разхода на инструмент $C_{и}$. Това е режим с неголеми F_T и F_H и голяма стойност на отношението F_T/F_H . Стойностите на h_{c_max} се поддържат в границите на желаните диапазон, гарантирайки при това максимална производителност.

За получаването на режима е необходимо да се извърши подходящ избор на редица параметри, като скоростта на подаване V_x , периферната скорост V_o , дълбочината на рязане H_p , типа на диска с технически данни за големината на концентрацията на диаманта, твърдостта на свързката, диаметъра на диска, ширина на сегмента.

Взаимно обвързани в процеса на рязане, всички тези параметри са включени в израза за големината на h_{c_max} (Yu, 2003; Konstanty, 2002):

$$h_{c_max} = \sqrt{\frac{3 \cdot V_x}{V_o \cdot \lambda \cdot \tan \theta \cdot K_d}} \sqrt{\frac{H_p}{D_d}} = \sqrt{\frac{3 \cdot Q}{V_o \cdot \lambda \cdot \tan \theta \cdot K_d \cdot L_c}} \quad [\mu m] \quad (8)$$

където: 2θ е ъгъла при върха на диаманта, формиращ и ъгъла в основата на стружката, съгласно фиг. 2,

K_d е брой на работещите диаманти в процеса на рязане и

λ е отношението между дължините на сегментите и каналите на диска.

Тази зависимост е база за разглежданата оптимизация на режима на рязане, при обработка на конкретен материал. Съвременните системи за задвижване и управление на режещите машини могат да гарантират поддържане с достатъчна точност на желаните стойности на V_x и V_o , необходими за осигуряване на желаните стойности на h_{c_max} , (режим Free cutting), съгласно (Li et al, 2002; Liao and Luo, 1992).

Веднага трябва да се отбележи, че извън теоретичните разглеждания за практическото въвеждане на режима е необходимо да бъдат направени достатъчно по обем и продължителност експериментални изследвания, касаещи обработката на конкретния материал, или група материали с близки свойства.

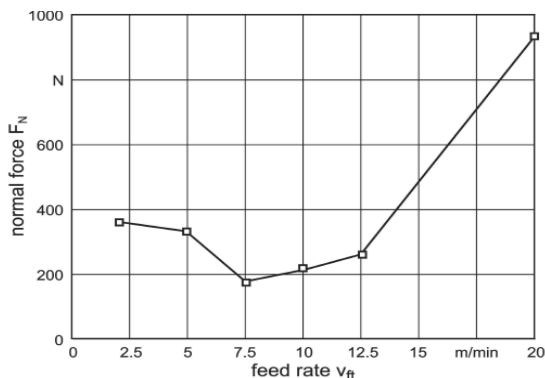
Основно изследванията се свеждат до:

1. Определяне характера на изменение на силите F_T и F_H , при промяна на скоростта V_x и различни $V_o = const$ за различни по тип и характеристики режещи дискове при $Q = const$.
2. Експериментално снемане на семейство зависимости, касаещи консумираната електроенергия за единица разрязана площ и $V_x = var (V_o = const)$, и обратно, при различни дебелини на рязането H_p .
3. Експериментални изследвания на степента на влияние, върху качеството на режима на рязане, за очакваните изменения в стойностите на избираемите при оптимизацията параметри.

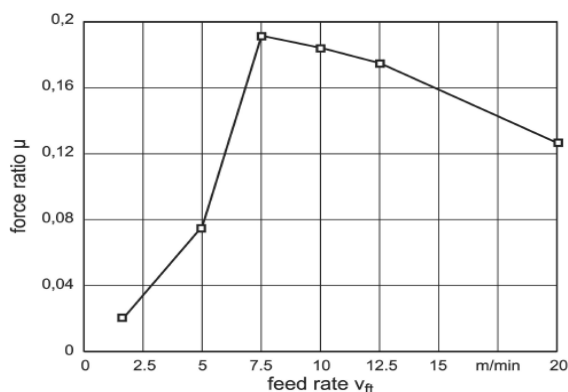
В публикации в последните години все по-често се дават резултати от подобни експериментални изследвания, насочени именно към подобряване качеството на режима на рязане.

В (Denkena et al, 2003) е дадена зависимостта на F_H и отношението F_T/F_H при различни стойности на скоростта V_x . Установен е минимум на F_H и максимум на отношението F_T/F_H при определена стойност на V_x . (фиг. 3,4) При оптимизация на режимите (режима Free

Cutting) е характерна намалената стойност на F_H и максимум на отношението F_T/F_H . В тази връзка е и правилно посочена съответната скорост на V_x като оптимална за проведения експеримент.



Фиг. 3. Влияние на скоростта на подаване V_x (feed rate V_{ft}) върху нормалната сила F_N (normal force F_N) при обработката на гранит тип: Imperial Red.



Фиг. 4. Отношение на F_T/F_N (force ratio) в зависимост от скоростта на подаване V_x (feed rate V_{ft}) при обработката на гранит тип: Imperial Red.

В (Li et al, 2002) експериментално се изследва зависимостта за разход на инструмент $C_{in} = f(V_x)$ при $Q = const$ и $V_o = const$.

Определена е стойността на h_{c_max} , при която рязането на посочения материал е с минимум разход на инструмент.

Изследвания по отношение на износоустойчивостта на различни по тип дискове при продължителна работа се дават в (Liao and Luo, 1992, 1993; Luo, 1995, 1996). Доказано е че продължителността на работа е силно съкратена за дискове, неподходящо избрани по тип, спрямо качествата на обработваемия материал.

Посочените по-горе експериментални резултати, разгледани като самостоятелни научни съобщения касаят отделни страни на процеса на оптимизация на рязането. Тяхното обединение на базата на физическите представи за процеса, потвърждава интуитивно очаквани връзки и зависимости, необходими за оптимизацията, които чисто теоретично не могат да бъдат изведени, заради

неточностите на математическото описание на процеса. Това формира и убеждението, че при достатъчен обем експериментални изследвания, проведени в методична последователност, е възможно да се постигне оптимизацията на режима по разглеждания критерий.

Изводи

В заключение, относно получените в работата резултати могат да се направят следните изводи:

1. На база анализ на известни зависимости от теорията на диамантено - абразивното рязане и множеството проучени публикувани резултати, е показана възможността за оптимизация на режима на рязане, изискваща наличието на определени експериментално снети резултати, отчитащи и свойствата на обработваемия материал.

2. Показано е, че ако при рязането на определен вид материал се поддържа в определени, експериментално потвърдени граници, стойността на дебелината на отнемания материал от диамантеното зърно, то това е достатъчно условие за оптималност на процеса. Избираеми параметри са скоростта на подаване на материала, периферната скорост на определения тип диск, както и параметрите му диаметър, ширина на сегмента и концентрация на диамантите.

Благодарности

Работата по статията е частично финансирана по проект № 08209pd-8 на Технически университет – София.

Литература

- Александров, В. А. 1979. *Обработка на природного камня алмазным дисковым инструментом*. Киев, Научная думка, 167 с.
- Александров, В. А., Алексеенко, Н. А., Мечник, В. А. 1984. Исследование силовых и энергетических параметров резки граните алмазными дисковыми пилами. *Сверхтвердые материалы*, т.6, 35-39.
- Александров, В. А., Мечник, В. А. 1997. Определение коэффициента износа алмазного отрезного круга в процессе его работы. *Сверхтвердые материалы*, т.6, 35-39.
- Мърхов, Н. 2003. *Обработка на декоративни скални материали*. Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, София, 344с.
- Цветков, М. И Грозева, К. 2002. Относно някои технологични характеристики на диамантените дискове за рязане на скални материали.- *Год. МГУ „Св.Ив.Рилски“*, т.44-45, св. III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София, 49-51
- Buttner, A. 1974. Diamond tools and stone. *IDR*, 45, May, 89 - 93
- Denkena, B., Tonshoff, H.K., Friemuth, T. and Glatzel, T. 2003. Development of advanced tools for Economic and Ecological Grinding of Granite. *KEM*, vol. 250, 21-32

- Han, Q.L., Y. Li, X.P. Xu. 2007. A Comparative Study of Stone Sawing with Thin and Normal Blades. *KEM*, Vol. 329 687-691
- Konstanty, J. 2002. Theoretical analysis of stone sawing with diamonds. *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 123, 146-154.
- Li, Y., H. Huang, J. Y. Shen, X. P. Xu, Y. S. Gao. 2002. Cost-effective machining of granite by reducing tribological interactions. *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 129, 389-394.
- Liao, Y.S., Luo, S.Y. 1992. Wear characteristics of sintered diamond composite during circular sawing. *WEAR*, Vol.157 325-337.
- Luo, S. Y., Y. S. Liao. 1993. Study of the behaviour of diamond saw-blades in stone processing. *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 51, 296-308.
- Luo, S. Y. 1995. Investigation of the worn surfaces of diamond sawblades in sawing granite. *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 70, 1-8.
- Luo, S. Y. 1996 Characteristics of diamond sawblade wear in sawing. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* vol.36, 661-672
- Mamalis, A. G., Schulze, R., Tonshoff, H. K. 1979. The slotting of blocks of hard rock with a diamond segmented circular sawblade. *IDR*, October, 356-365.
- Xu, X. P., Y. Li, W. Y. Zeng, L. B. Li. 2002. Quantitative analysis of the loads acting on the abrasive grits in the diamond sawing of granites. *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 129, 50-55.
- Xu, X.P., Y. Li. 2003. The Effects of Swarf in the Diamond Sawing of Granite. *KEM*, Vol.250, 187-193.
- Yu, Y.Q., X.P. Xu. 2003. Improvement on the Performance of Diamond Segments for Rock Sawing, Part 1: Effects of Segment Components. *KEM*, vol. 250, 46-53.

Препоръчана за публикуване от Редакционен съвет

СЪПРОТИВИТЕЛНИ СИЛИ И МОМЕНТИ ПРИ РЯЗАНЕ НА СКАЛНИ МАТЕРИАЛИ С ДИАМАНТЕНО ВЪЖЕ

Борис Борисов¹, Николай Петков², Стефан Ангелов³

¹ Технически университет - София, 1000 София

² Технически университет - София, 1000 София, nikipetkov_tu@abv.bg

³ Технически университет - София, 1000 София, ashmodean_@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Рязането с въжена режеща машина се осъществява при силно променящи се съпротивителни сили и моменти. Като резултат от възникналите динамични натоварвания се наблюдават чести късания на въжето или аварии в механичната част на машината. В доклада, въжената режеща машина се разглежда като многомасова електромеханична система. Определени са статичните натоварвания и се предлагат решения за ограничаване на големината на динамичните натоварвания.

RESISTIVE STRENGTHS AND TORQUES DURING THE PROCESS OF SAWING WITH DIAMOND WIRE SAWS

Boris Borisov¹, Nikolay Petkov², Stefan Angelov³

¹ Technical University of Sofia, 1000 Sofia,

² Technical University of Sofia, 1000 Sofia, nikipetkov_tu@abv.bg

³ Technical University of Sofia, 1000 Sofia, ashmodean_@abv.bg

ABSTRACT. The sawing with diamond wire saws is performed in very harsh environment where highly variable resistive forces and torques are taking place. Frequent tearing of the rope and failures in the mechanical parts of the machine are observed due to the variation of the dynamic loads. In this paper the diamond wire saw machine is threaded as a multi-mass mechanical system. Determination of the static loads is offered and special attention is paid to the limitation of the dynamic loads.

Въведение

Едно столетие разделя международния панаир в Париж през 1889 г., където за първи път е изложена машина за рязане на скални материали с гъвкав инструмент (въже) и 1983 г., в която фирмата "Diamant Boart" въведе втулки с многослойна структура на диамантените зърна, осигуряващи ефективност при рязането на твърди скални материали, наричани от нас често "гранити" (Ozcelik et al., 2006).

Както в този период, така и в годините след него основна задача за специалистите от тази област е работата насочена към подобряване техническите показатели на диамантеното въже, свързани с повишаване на:

- производителността Q , [m^2/h]
- износостойчивостта му, изразена чрез отрязаната площ от единица линейна дължина от него, [m^2/m]
- якостните свойства на въжето, с цел намаляване на евентуалния брой на скъсванията му.

В резултат на тези усилия се достигна до техническо ниво, което определи в последното десетилетие режещите машини с диамантено въже, при добива и обработката на по-меки материали без алтернатива. Това се дължи главно на следните им по-важни предимства:

- с по-точните по размер и по-гладки разрези се добиват добре оформени блокове, удобни за допълнителните стандартни обработки, без значителни загуби на материал. Това снижава силно и енергийните и транспортни разходи,

- в сравнение с другите начини на рязане, при диамантеното въже практически няма ограничения по отношение на големината на реза, неговата начална форма и др. Възможно е разрезът да бъде хоризонтален, вертикален, или под някакъв ъгъл,

- по-добра мобилност на машините, благодарение на по-малките им габаритни размери и по-малката инсталирана мощност. За масово използваните машини, двигателят на задвижващата шайба е около 30 KW, което е съществено предимство, отчитайки проблемите с осигуряване на голяма ذخаранваща електрическа мощност в кариерите.

Удобствата на рязането с диамантено въже умело се използват от създателите на каменообработващи машини. Свидетели сме на различни по предназначение, мощност и конструкции машини, с едно или повече едновременно режещи въжета.

По-малко убедителни са предимствата на тези машини при рязането на гранити. За постигане на еднаква

производителност с мрамора, приложените сили при рязане на гранита трябва да бъдат почти на порядък по-големи от тези при мрамора, като при това се консумира 5 пъти повече електроенергия (Cai and Mancini, 1988).

При работа със значителни по големина натоварвания на въжето се увеличава и броят на скъсванията му, което е основен недостатък на режещите с диамантено въже машини. Въпреки че води и до намаляване на производителността, основно проявление на този недостатък е немалкият риск да бъдат засегнати работещи лица от опасно движещото се с висока скорост скъсано въже, или изхвърлените при това диамантени втулки.

Независимо от тези успехи, от чисто приложен аспект на тази технология, в теоретично отношение стоят нерешени основни задачи като:

- математическо описание на процеса на рязане с диамантено въже и предлагане на изрази за определяне големините на участващите при рязането сили и моменти,
- оценка на динамиката на процеса на рязане и влиянието на динамичните моменти върху якостта (умората) на въжето и др.

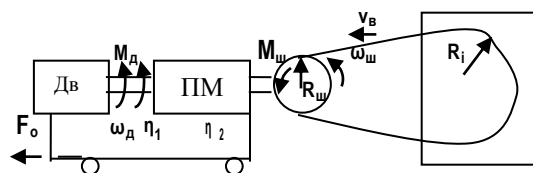
Ето защо в редица публикации, включително и в настоящата, авторите използват зависимости, изведени за механизми, сходни с физиката на процесите при диамантеното рязане, като гумено-лентови транспортьори, ремъчни предавки, лифтове и др.

В тази насока, да се даде дори и малък частичен отговор на нерешените, посочени по-горе твърде специфични въпроси, е и целта на направените по-долу в доклада разглеждания.

Основни зависимости и съотношения

За кинематичната схема на режещата машина от фиг. 1 са валидни следните съотношения за мощностите:

$$M_d \omega_d \eta_{\Sigma} = M_{\omega} \omega_{\omega} = F_{\omega} R_{\omega} \omega_{\omega} = F_{\omega} v_{\omega} \quad (1)$$



Фиг.1. Кинематична схема на каменорезна машина с диамантено въже.

където:

- M_d – момента на вала на двигателя Дв в [N.m]
- ω_d – ъглова скорост на двигателя в [rad/s]
- M_{ω} , [N.m] е момента на задвижващата шайба, определен от приложената сила F_{ω} , [N] и радиуса на шайбата R_{ω} , [m]
- $v_{\omega} = \omega_{\omega} \cdot R_{\omega}$ – периферна скорост на въжето в [m/s]

$\eta_{\Sigma} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3$ - общият коефициент на полезно действие (кпд) на предавателния механизъм ПМ, между двигателя и въжето, определен от отделните КПД, (например η_1 , η_2 , η_3) на последователно свързаните в междинната предавка, механизми.

Периферната сила F_{ω} е необходимата теглеща сила, приложена към шайбата и предадена на въжето за преодоляване на сумарните съпротивителни сили:

$$F_{\omega\Sigma} = F_p + \Delta F_{\text{заг}} = F_p + F_1 + F_2 \quad (2)$$

където:

- F_p – силата, свързана с процеса на рязане
- $\Delta F_{\text{заг}}$ – сили на загуби
- F_1 – сили на триене между въжето и камъка
- F_2 – сили свързани с изхвърляне на отпадъчния материал от среза.

Коректно е да се отбележи, че при необходимост, силите на загуби, могат да се разбият на по-голям брой съставлящи. В случая те са окупнени до F_1 и F_2 .

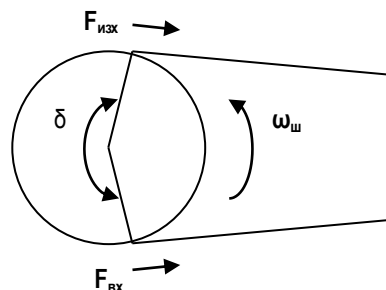
За наличието на необходимата задвижваща сила F_{ω} , не трябва да има приплъзване (буксуване) между въжето и задвижващата го шайба. В тази връзка тук с достатъчна точност може да се използва уравнението на Ойлер:

$$F_{\text{изх}} \leq F_{\text{вх}} e^{\mu\delta} \quad (3)$$

даващо необходимото съотношение между силите на опън на входящия $F_{\text{вх}}$ и изходящия $F_{\text{изх}}$ (по отношение на разрязвания блок) клон на въжето, като тяхната разлика е:

$$F_{\text{изх}} - F_{\text{вх}} = F_{\omega} \quad (4)$$

Тук μ е коефициент на триене въже-шайба, а δ е ъгъла на обхващане (фиг. 2) (Dunda, 1996):



Фиг.2. Задвижване на задвижващата шайба.

Режими на рязане

Статични режими

Рязането с диамантено въже принадлежи към диамантено-абразивното рязане, чиято физика на процеса се свежда до две действия. Проникване на диамантените зърна (на втулките) в скалата и придвижването им в нея, разрушавайки структурата ѝ. Това се постига

благодарение на еластичността на въжето и действието на силите на опън в него, породени от приложената сила F_o , към движещата се платформа на машината (фиг.1).

В периферията на задвижващата шайба, определена от ъгъла на обхващане δ , действуват сили на натиск (от нормалната съставка на силата) с които се осигурява достатъчна стойност на коефициента на триене μ на предавката шайба-въже, а като резултат на всичко това и възможност за предаване на теглеща сила и механична мощност на въжето.

От друга страна в линията на среза също действуват сили на натиск между въжето и скалата (от нормалната съставка на силата) които трябва да бъдат достатъчни по големина за проникване на диамантите в разрязвания материал.

При увеличаване на F_o се постига проникване на по-голям брой диаманти, на по-голяма дълбочина в скалата. Това определя по-голяма стойност на силата F_p (разгледана като сумарна тангенциална сила). Това ще доведе до увеличаване на силата $F_{c\tau}$, а от там и на големината на опъна $F_{изк}$, и до намаляване на опъна във входящия клон $F_{вх}$. Ако тези текущи стойности на $F_{изк}$ и $F_{вх}$ удовлетворяват условието на Ойлер, то предавката шайба-въже не приплъзва. При по-нататъшно увеличаване на $F_{c\tau}$, $F_{изк}$ може да достигне стойности, които съответно с намалените стойности на $F_{вх}$, да не удовлетворяват условието на Ойлер и практически в резултат от това претоварване ще се получи приплъзване на предавката.

Това поставя с особена острота въпроса с правилния избор на големината на зададената сила F_o .

В началото при започване на даден разрез, въжето контактува с най-изпъкналите части от скалния материал в линията на реза. Силата $F_{c\tau}$ е със силно променлив характер. Явяват се динамични сили $F_{дин}$ от разликата:

$$F_{дин} = F_{ш} - F_{c\tau} \quad (5)$$

При маса на въжето $m_b = const.$:

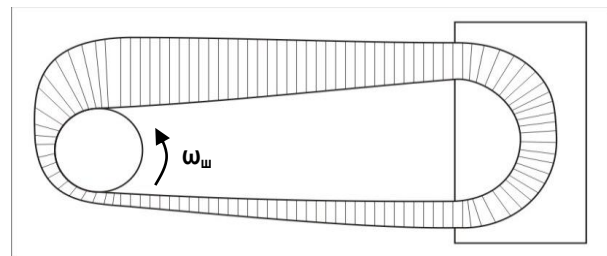
$$F_{дин} = m_b \cdot \frac{dv_b}{dt} \quad (6)$$

Измененията на скоростта v_b са причина за наблюдаване на нежелани колебания в двата клона на въжето. За този етап от зарязването е необходимо бавно и плавно увеличаване на силата F_o .

В процеса на рязане, контактните точки между въжето и скалния материал бавно прерастват в част от прекъсната крива, които се съединяват в даден момент от рязането в непрекъсната. Траекторията на тази крива се променя като началната ѝ форма зависи от тази на скалния материал. Ако в тази траектория има участъци, които биха могли да се апроксимират като части от окръжност, с радиус R_i

(фиг. 1), то нормалната съставка на силите (по R_i) е обратнопропорционална на големината на радиуса. В тези участъци въжето упражнява по-голям натиск върху скалата, рязането там е по-интензивно, което води до увеличаване на радиуса и към по-равномерно разпределение на силите по траекторията на реза. Последната се превръща в част от окръжност с непрекъснато намаляващ радиус (Liu et al.,2004).

Ако в този режим на рязане се зададе подходяща сила F_o може да се осигури режим на интензивно рязане (т.е. по-голяма стойност на $F_{c\tau}$) и което е по-важно, с по-малки колебания в стойността ѝ. Тук е възможно да бъдат наблюдавани макар и с малка продължителност установени режими $F_{ш} = F_{c\tau}$. На фиг. 3 е показана диаграмата на силите във въжето, за установен режим на работа. Напреженията са най-малки във входящия клон, и се увеличават по протежението на въжето към изходящия клон.



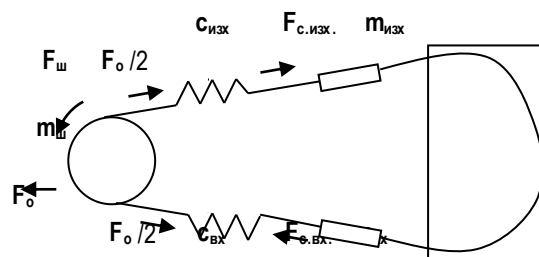
Фиг.3.Диаграма на силите в статичен режим.

Фигурата дава представа да бъдат определени областите, където е най-вероятно да се скъса въжето. В (Dunda and Kujundzic, 2001; Huang and Xu, 2006) са направени изследвания и е показано, че най-често въжето се къса:

- в точката на съединяване на краищата му,
- в напречните сечения на въжето, намиращи се на границата с втулките,
- в напречните сечения на въжето по средата между две втулки.

Динамични режими

Машините за рязане на скални материали с диамантено въже представляват механични системи с разпределени по дължината на въжето параметри: маса на въжето, еластичност на въжето. Наличието на еластичен работен орган предопределя възникването на колебания. За описание на работата на машината в динамичен режим разпределените параметри се заменят с еквивалентни съсредоточени такива: маси, еластичности и сили (фиг.4).

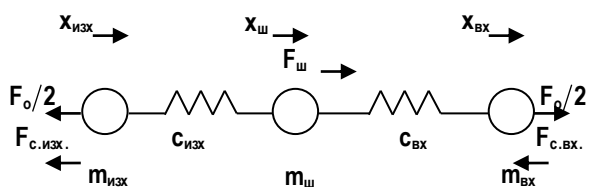


Фиг.4.Еквивалентна схема на каменорезната машина със съсредоточени параметри

На фигурата са показани следните означения:

- $m_{изк}$ и $m_{вх}$ - маси, съответно на изходящия и входящия клонове на въжето, [kg]
- $c_{изк}$ и $c_{вх}$ - коефициенти на твърдост на изходящия и входящия клон, [N/m]
- $F_{с.изк.}$ и $F_{с.вх.}$ - резултантни съпротивителни сили, [N]
- $m_{ш}$ - приведена към постъпателното движение на въжето маса на електрозадвигването [kg.]

Динамичния модел на каменорезната машина е показан на фиг.5 (Ключев и Терехов,1980):



Фиг.5.Схема на каменорезната машина, като тримасова система

Движението на системата се описва със системата уравнения:

$$\begin{aligned} F_{ш} - c_{вх} (x_{ш} - x_{вх}) - c_{изк} (x_{ш} - x_{изк}) &= m_{ш} \ddot{x}_{ш} \\ c_{вх} (x_{ш} - x_{вх}) - (F_{с.вх.} - F_0/2) &= m_{вх} \ddot{x}_{вх} \\ c_{изк} (x_{ш} - x_{изк}) - (F_{с.изк.} + F_0/2) &= m_{изк} \ddot{x}_{изк} \end{aligned} \quad (7)$$

, където:

- $x_{ш}, x_{вх}, x_{изк}$ - пътищата, които изминават масите $m_{ш}, m_{вх}, m_{изк}$ (m)
- $\ddot{x}_{ш}, \ddot{x}_{вх}, \ddot{x}_{изк}$ - ускорения на масите $m_{ш}, m_{вх}, m_{изк}$, (m/s^2)

Тъй като за участващите сили не съществуват аналитични зависимости, за тяхното определяне, при анализа на системата, те ще бъдат определяни експериментално. Това е бъдеща работа на авторите и резултатите от анализа ще бъдат предмет на друга публикация.

Изводи

Направените разглеждания по отношение на въжените режещи машини, позволяват да бъдат направени следните препоръки, касаещи етапа на тяхното проектиране:

1.По отношение на двигателя, задвижващ шайбата е целесъобразно използването на честотопреобразуватели. За тези мощности в последните години сме свидетели на поевтиняването им, което вече ги прави по-достъпни за използване. С честотопреобразувателите ще се осигури:

- възможност за регулиране на скоростта и избор на желана периферна скорост на въжето,
- плавност на процесите на пускане и ускоряване на двигателя, което е съществено важно при заповане на даден разрез,
- ограничаване на големината на момента, развиван от двигателя, с което ще се ограничат и динамичните натоварвания в системата шайба-въже,
- намаляване на топлинните загуби в двигателя, както и икономия на електроенергия.

2. За задвижването на механизма, задаващ опъването (F_0), е препоръчително да се използват системи със свойства източник на момент. Такава е системата, при която асинхронния двигател се управлява, чрез промяна на големината на напрежението на статора. Подобно решение се използва в задвижването на въжените режещи машини с диамантено въже на фирма „Pelegriini”.

Най-пълно удовлетворяване на тези изисквания, свързани с F_0 , се постигат при използване на векторно управление на асинхронни двигатели (например системата DTC – direct torque control).

3. При отчитане на динамичните натоварвания в кинематичната верига на режещата машина, биха се получили резултати по-близки до реално протичащите процеси, тъй като установения режим на работа не е основен режим. От гледна точка на управлението, по време на работата, машината се държи непрекъснато в преходен режим. Анализът на поведението на системата би позволил да се формулират и други препоръки, с оглед ограничаване на динамичните натоварвания.

Литература

- Ключев, В.И., Терехов, В.М.,1980 Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов. – М. „Энергия”, 360 с.
- Cai, O., Mancini R. 1988. Diamond wire for cutting hard rock. - *Industrial Diamond review*, 212-214.
- Dunda S. 1996. Theoretical development of the estimate of diamond wire sawing plant. – *Rudarsko-geolosko-naftni zbornik*, 103-109.
- Dunda, S., Kujundzic, T. 2001. Tensile strength of steel ropes of diamond wire saws. - *Rudarsko-geolosko-naftni zbornik*, 57-61.
- Huang, G. Q., Xu, X. P. 2006. Analysis of the breakage of diamond wire saws in sawing of stone. – *Key Engineering Materials*, 123-126.
- Liu, B. C., Zhang, Z. P., Sun, Y. H. 2004. Sawing trajectory and mechanism of diamond wire saw. - *Key Engineering Materials*, 395-400.
- Ozcelik, Y., Bayram, F., Yasitli, N. E. 2006. The development of a model diamond wire cutting machine. – *Industrial Diamond Review*, 26-33.

Препоръчана за публикуване от Редакционен съвет

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЧЕСТОТЕН ДИАПАЗОН ПРИ РАБОТА НА ЛАГЕРЕН ВЪЗЕЛ С ТЪРКАЛЯЩИ ЛАГЕРИ

Петко Недялков, Драгомир Вражилски, Димитър Ралев

Технически Университет – София, Машиностроителен Факултет,
e-mail: nedpetko@tu-sofia.bg, dcv@tu-sofia.bg, dralev@tu-sofia.bg

РЕЗЮМЕ. Изследвани са вибрационни характеристики, генерирани при работа на възли с търкалящи лагери. Изследвани са характерни честотни диапазони чрез спектрален анализ. Направена е съпоставка между теоретично изчислените и снетите честотни характеристики на лагерите.

КЛЮЧОВИ ДУМИ: търкалящи лагери, вибродиагностика, спектрален анализ, fft

RESEARCH OF THE WORKING FREQUENCY DIAPASON FOR ROLLER BEARINGS

Petko Nedyalkov, Dragomir Vrazhiski, Dimitar Ralev

Technical University – Sofia, Faculty of Mechanical Engineering,
e-mail: nedpetko@tu-sofia.bg, dcv@tu-sofia.bg, dralev@tu-sofia.bg

ABSTRACT. Research about vibration characteristics generated in working conditions by the roller bearings has been made. Using spectrum analysis there are studied particular frequency diapasons. Also there is comparison between theoretically calculated and examined frequency characteristics.

KEYWORDS: roller bearings, vibrodiagnostics, spectrum analysis, fft.

Въведение

Съвременните системи за наблюдение състоянието на механични обекти и системи търпят бурно развитие и се усъвършенстват все повече в последните години. Все повече се използват системи с вградени датчици и процесори които преобразуват потока от данни от инсталираните датчици и го предават към компютър за следене състоянието на обекта.

Конкретно при следенето състоянието на възлите с търкалящи лагери в механичните системи са разпространени няколко метода за следене: - на термично състояние; - на замърсявания на маслото; - на вибрационни характеристики.

Настоящата разработка разглежда вибро-характеристики на търкалящите лагери и тяхното приложение в диагностиката. Вибродиагностиката има няколко основни предимства – може да се използва за лагерни възли работещи без система за непрекъснато мазане, може да се използва за превантивна диагностика. Термичната диагностика се използва за детектиране на повредени лагерни възли, тъй като термичната характеристика на лагера се променя при наличие на повреди и съответстващото им повишено триене във възела.

Превантивната диагностика или непрекъснатото следене на състоянието има основна задача да осигури информация за предстояща повреда. Използва се в системите на плановите ремонти както и при диагностика на високо отговорни възли. Такива системи намират

приложение в авиотехниката, в голямо габаритните вентилатори, компресори, турбини и помпи, както и във всички средно и високо оборотни машини с отговорно предназначение.

За целите на настоящото изследване е използван стенд за изпитване на радиални търкалящи лагери при променливо радиално натоварване. Стендът се състои от вал два основни лагера, от типоразмер 1306 и конзолно изнесен изпитван лагер 6005, който се натоварва чрез винтово товарно устройство през опорна плоча.

Вибрационни характеристики на радиални търкалящи лагери

Както е известно от класическият курс по машинни елементи, търкалящият лагер може да се разглежда като планетен механизъм. При такава постановка могат да се изчислят ъгловите скорости на елементите на лагера. Също така могат да се изчисли честотата на преминаване на съответния елемент.

Дефектите или повредите върху съответния елемент пораждат удари при преминаването на търкалящите тела върху тях. Тъй като абсолютните стойности на породените от тези удари, вибрационни кинематични величини (преместване, скорост, ускорение) зависят както от състоянието на елементите, така и от пътя на предаването през останалите елементи, коректното им измерване е възпрепятствано. Поради тези причини най – често се

изследва честотния спектър на виброускоренията. Честотите на различните дефекти са ясно различими и информативни характеристики за нуждите на диагностиката и дефектоскопията.

Ако се разгледа лагерен възел в който валът се върти с обороти n , ($об / min$), на които отговаря основна честота f , (Hz), то може да се дефинират (Buscarello 2002):

а) честота на преминаване върху вътрешната гривна:

$$f_1 = \frac{N_b}{2} * \left(1 + \frac{d_b}{d_s} * \cos \alpha \right) * f, (Hz), \text{ където:} \quad (1)$$

- N_b , ($бр.$) – брой на търкалящите тела;

- d_b , (mm) – диаметър на търкалящите тела;

- d_s , (mm) – диаметър на сепаратора /среден диаметър на търкаляне на търкалящите тела;

- α , (deg) – контактен ъгъл за лагери с едностранен контакт на телата и гривните, за лагери с двустранен контакт $\alpha = 0 \text{ deg}$.

б) честота на преминаване върху външната гривна:

$$f_2 = \frac{N_b}{2} * \left(1 - \frac{d_b}{d_s} * \cos \alpha \right) * f, (Hz) \quad (2)$$

в) честота на въртене на търкалящите тела:

$$f_3 = \frac{d_s}{2 * d_b} * \left[1 - \left(\frac{d_b}{d_s} * \cos \alpha \right)^2 \right] * f, (Hz) \quad (3)$$

г) честота на сепаратора:

$$f_4 = \frac{1}{2} * \left(1 - \frac{d_b}{d_s} * \cos \alpha \right) * f, (Hz) \quad (4)$$

Това са четирите основни честоти създавани от елементите на лагера, петата основна честота е честотата на въртене на вала. Тези пет основни честоти и техните целочислено кратни хармоници служат за основен критерии за състоянието на лагера.

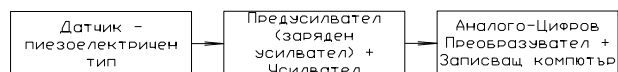
Тези формулировки са за общия случай, при който се въртят и двете гривни. Могат да се разграничат два основни частни случая

а) неподвижна външна гривна – вътрешната гривна се върти с вала и задвижва търкалящите тела. Може да се приеме, че $f_1 = 0 \text{ Hz}$, т.е. телата нямат относително въртене спрямо вътрешната гривна и няма да породят удари върху нея;

б) неподвижна вътрешна гривна – външната гривна се върти с главината и задвижва търкалящите тела. Може да се приеме, че $f_2 = 0 \text{ Hz}$, т.е. телата нямат относително въртене спрямо външната гривна и няма да породят удари върху нея;

Измервателна система за вибросигнали

За целите на настоящото изследване е използвана класическа измерителна система за вибро сигнали, показана на фиг. 1.



Фиг. 1. Схема на измервателната система.

Датчиците са монтирани с винтово съединение на опорната плоча за натоварване на изпитвания лагер. Така е използван най-краткия път за предаване на вибрациите към осезателя.

Аналого – Цифровият Преобразувател /АЦП/ NI USB-6210 е с максимална семплираща честота 250 kS/s. За разгледаните записи е използвана честота на семплиране 65.536 kS/s което позволява ефективно възстановяване на честоти до 32.768 kHz.

Използваните датчици са KD35 с резонансна област между 10 – 20 kHz и нелинейна част 5 – 25 kHz.

При тази конфигурация е реализирана възможност за наблюдение на честотите създавани в изпитвания лагерен възел в диапазона под 5 kHz. Над тези честоти пиезоелектричният датчик не дава линейна зависимост между входен и изходен сигнал и може да се използва само като регистратор на честоти.

Резултати от измерването и обработка на данните

Изпитваният лагер е SKF 60052Z, а оборотите на вала на стенда са $n = 1240 \text{ min}^{-1}$. За този лагер и тези обороти на вала създаваните от лагера, теоретично пресметнати честоти и съответните им хармоници са дадени в табл. 1.

Таблица 1.

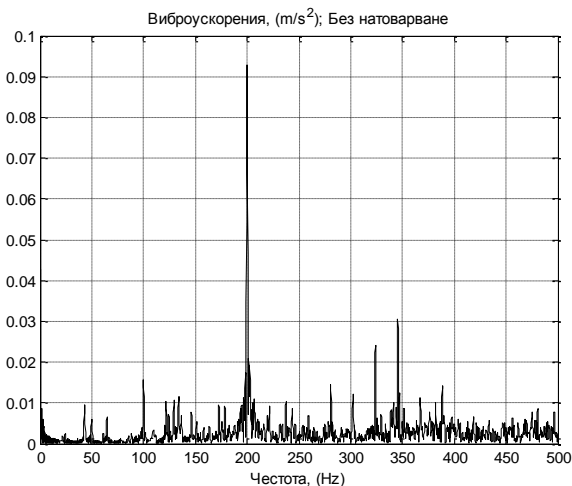
Основни честоти и кратните (от 1 – 5) им хармоници.

	n	f	f_1	f_2	f_3	f_4
	(min^{-1})	(Hz)	(Hz)	(Hz)	(Hz)	(Hz)
1	1265	21.1	125.2	85.7	54.3	8.6
2	2530	42.2	250.3	171.3	108.5	17.1
3	3795	63.3	375.5	257.0	162.8	25.7
4	5060	84.3	500.7	342.6	217.1	34.3
5	6325	105.4	625.9	428.3	271.4	42.8

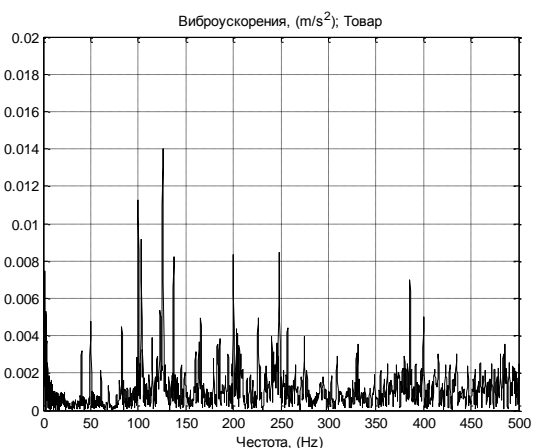
Наличието на множество хармонични съставляващи говори за наслагване на хармонични, нехармонични, импулсни и/или ударни въздействия. Това е особено показателно за наличие на дисбаланс и увеличени лагерни хлабини. Също е сигнал за наличие на нарушения на ролковият път или телата.

Амплитудния спектър на сигнала бе изследван чрез Бързо Преобразуване на Фурие /БПФ/. Тъй като сигналите са записани в компютърен формат, може да се използва едно от големите предимства на БПФ - да се прилага за различни честотни диапазони и така да се изследва подробно една или друга област.

Направени са няколко измервания на виброускорения създавани в изпитвания лагер тип 6005 при различен радиален товар на изпитвания лагер.

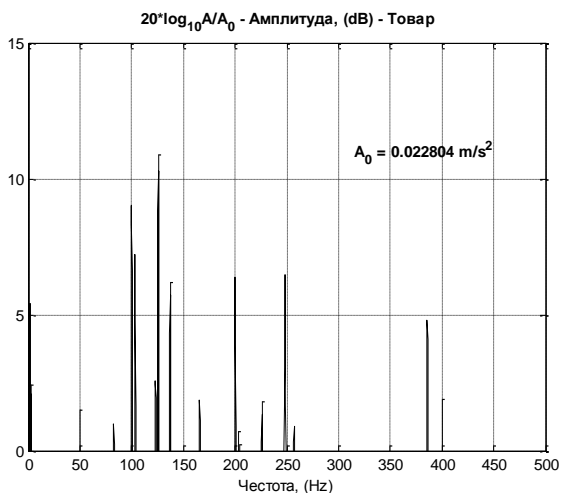


Фиг. 2. Спектър в диапазона 0 – 500 Hz на виброускоренията при работа на лагера без радиално натоварване.

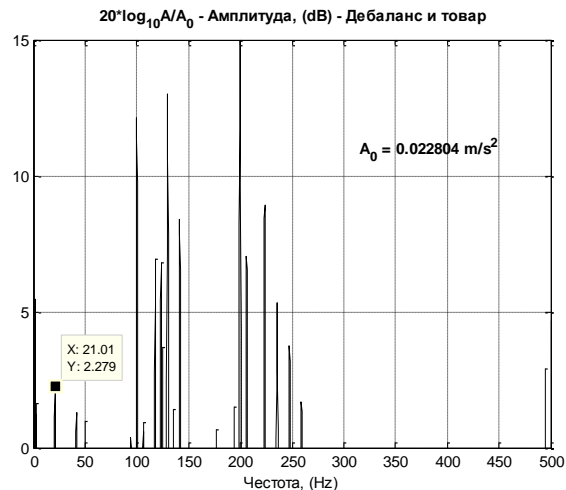


Фиг. 3. Спектър в диапазона 0 – 500 Hz на виброускоренията при работа на лагера с радиално натоварване.

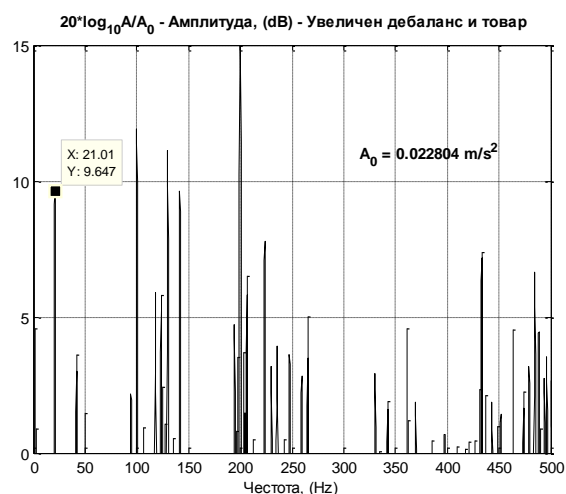
На фиг. 2 и 3 са дадени спектрите на виброускоренията в диапазон 0- 500 Hz. Отчетливата честота от 200 Hz не е свързана с никоя от лагерните честоти и може да се допусне, че това е собствена честота на някои от съпътстващите елементи. Вижда се наличието на много спектрални линии което е породено от нивото на шума във възела. За да се избегне това може да се използва разпечатване на логаритмична зависимост на амплитудите спрямо една основна (в случая $A_0 = 0.02804 \text{ m/s}^2$).



Фиг. 4. Спектър в диапазона 0 – 500 Hz на виброускоренията при работа на лагера с радиално натоварване.



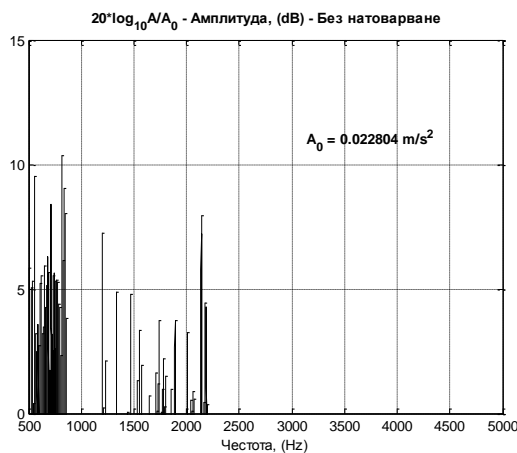
Фиг. 5. Спектър в диапазона 0 – 500 Hz на виброускоренията при работа на лагера с дебаланс монтиран върху вала.



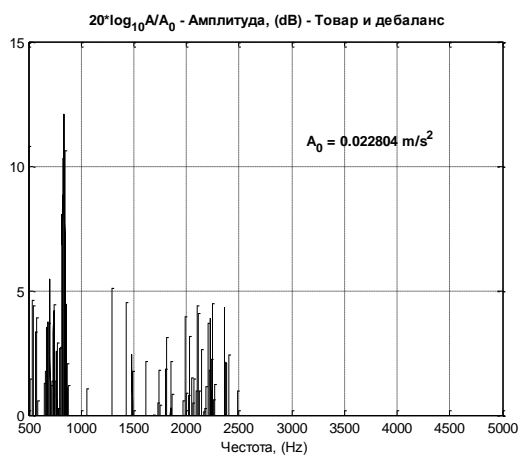
Фиг. 6. Спектър в диапазона 0 – 500 Hz на виброускоренията при работа на лагера с увеличен дебаланс.

На фиг. 4. е показан същия спектър на натоварения лагер в диапазона 0 - 500 Hz, както на фиг. 3, но със логаритмична зависимост:

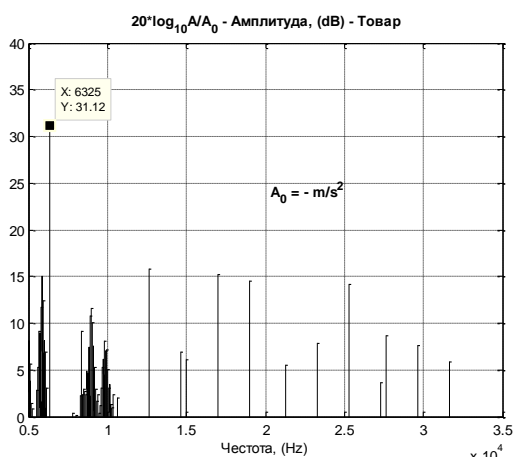
$$A_{dB} = 20 * \log_{10} \frac{A}{A_0}, (dB), \quad (5)$$



Фиг. 7. Спектър в диапазона 500 – 5000 Hz на виброускоренията при работа на лагера без радиално натоварване.



Фиг. 8. Спектър в диапазона 500 – 5000 Hz на виброускоренията при работа на лагера с радиално натоварване и увеличен дебаланс.



Фиг. 9. Спектър в диапазона 5 – 32 kHz на виброускоренията при работа на натоварения лагер.

Увеличените амплитуди в диапазона 0 – 500 Hz при работа на лагерния възел с дебалансна маса и товар се обяснява с увеличаване на общия ексцентритет на вала при натоварването му. Също така е явно – фиг. 6 увеличаването на амплитудата на основната честота $f = 21.01 \text{ Hz}$ при увеличаване на масата на дебаланса.

Анализирайки различията между фиг. 7 и фиг. 8 се вижда, че при работа на лагера без товар диапазона между 500 – 1000 Hz е запълнен със множество спектрални линии. Това са линиите на собствените честоти на лагерните елементи. Тъй като това е диапазона в които човешкото ухо е най – чувствително е лесно да бъде доловено и без специални средства, че лагера „звънти“. Както се вижда при натоварване част от линиите изчезват.

Също така в този диапазон се проявява зашумяването от наличие на замърсители или абразивно износване на лагерните пътечки – появява се плътен непрекъснат спектър в диапазона 2500 – 6000 Hz. Тъй като това също е чуваем диапазон много често се хваща като „бучене“ на лагера. При наличие на такъв сигнал лагера или се почиства, ако е замърсен или се заменя ако има абразивно износване.

Препоръчана за публикуване от Редакционен съвет

Спектрите на честотите от 5 – 32 kHz не се влияят от натоварването и наличието на дебаланс. Видима и ясно различима е линията с честота 6325 Hz. Тази линия се използва за диагностика на лагерния възел като параметър „spike energy^(TM)“ (Ху 1999). Параметъра „spike energy^(TM)“ или енергия на микро пулсациите е дефиниран (Stevens 2001 и Ху 1999) като енергия на високо честотните удари породени от питингово или абразивно износване на лагерните пътечки. За съжаление този критерий е запазена марка и информация се публикува само за начина на използването му, но не и за теоретичната обосновка. Практически това е ултразвукова вибрация, която за класическите пиезо-електрични датчици е трудно да бъде дефинирана и калибрирана като абсолютна стойност. Също това е параметър които има уникална абсолютна стойност за система възел – датчик, т.е. не е възможно сравняването му при използване на други датчици. Според посочените източници при началото на процеса на разрушаване на ролковите пътища параметъра „spike energy^(TM)“ нараства като амплитуда и може да бъде използван за критерий за началото на влошаване на състоянието на лагера.

Изводи

1. Разгледани са различните приложения на вибродиагностичен метод чрез записване на виброускорения и спектралният им анализ за контрол на състоянието на радиален сачмен лагер.
2. Изследван е радиален сачмен лагер при различни натоварване и големина на дебалансната маса прикачена към вала.
3. На базата на разгледания метод са регистрирани диапазоните на собствените трептения на лагерните елементи.
4. Съвременните средства за вибродиагностика на лагерни възли позволяват с относително евтини измерителни средства да бъде определено текущото им състояние. Също така е възможно използването на виброизмервателни методи за следене на състоянието на лагерния възел.
5. На базата на тези изследвания е отчетено като необходимо да се създаде усъвършенстван стенд за изпитване на лагери с възможност за прецизно регулиране и измерване на оборотите и на натоварването на изпитвания лагер.

Литература

- Buscarello Ralph T “Practical Solutions to Machinery and Maintenance Vibration Problems” <http://www.update-intl.com/VibrationBook8g.htm> (2002)
- Stevens David “Machinery Vibration Diagnostics” (2001) - <http://www.vibanalysis.co.uk/vibanalysis/rolling/rolling.html>
- Ming Xu, “Spike Energy(TM) measurement and case histories”. ENTEK IRD International Corporation (1999).

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА СОБСТВЕНИ ЧЕСТОТИ И ДЕМПФИРАНЕ НА ВИБРАЦИОНЕН СЕПАРАТОР

Драгомир Вражилски

Технически Университет София, 1756 София, e-mail: dcv@tu-sofia.bg

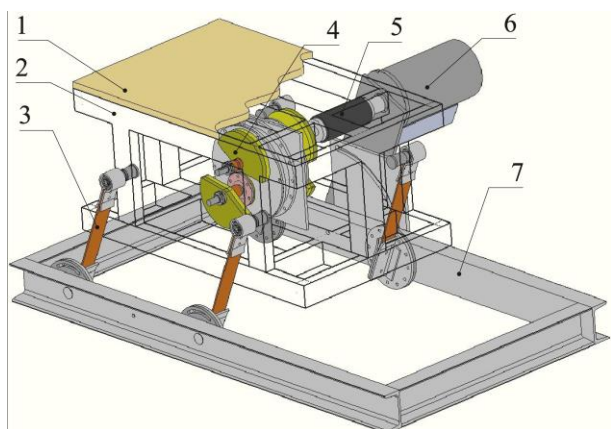
РЕЗЮМЕ. Изследвани са вибро-ускоренията на свободно затихващи трептения по обобщени координати. След провеждане на спектрален анализ са получени честотите на главните хармоници. Направено е сравнение между теоретично пресметнати и експериментално получени стойности. В резултат на регресионен анализ е установен характерът на затихване и съответните коефициенти на демпфиране.

EXPERIMENTAL EXAMINATION OF NATURAL FREQUENCIES AND DAMPING IN VIBRATION SEPARATOR

Dragomir Vrazhiski

Technical University – Sofia, Bulgaria, 1756 Sofia, e-mail: dcv@tu-sofia.bg

ABSTRACT. Free damped oscillations accelerations over generalized coordinates are examined. After applying spectrum analysis the main harmonics frequencies are obtained. Comparison between theoretically calculated and experimentally obtained values is performed. The character of oscillations decay and the corresponding damping coefficients are determined as a result of regression analysis.



Фиг.1. Пространствен компютърен (SolidWorks) модел на активна работна част от Вибрационен Сепаратор.

1. Въведение

С цел провеждане на експериментални изследвания върху процеса сепариране на фино-зърнести минерални материали, чрез плоска не перфорирана повърхност, вибрираща по хармоничен закон и праволинейна траектория, бе конструиран и в последствие създаден в метал Вибрационен Сепаратор (ВС). Пространствен компютърен модел на активната работна част от сепаратора е показана на фиг.1. На кратко конструкцията се състои от сепарираща плоскост 1, прикачена към вибрираща рама (BP) 2, поддържана от четири листови пружини 3 и фундамент 7. Възбуждане на трептения се постига чрез инерционен вибратор 4, осигуряващ насочена сила. Задвижването на вибратора става посредством

еластичен съединител 5 и постоянно токов електродвигател 6.

На определен етап от конструирането възникна въпросът до колко така синтезираната конструкция осигурява праволинейност на траекторията. Съмнения за това бяха породени от факта, че поради конструктивни трудности точката на окачване на еластичния съединител 5 не съвпада с масовия център на BP 2. В резултат се наблюдава отместване на еластичния от масовия център на системата, което е предпоставка за нарушаване на праволинейната траектория и предизвикване на пространствени трептения по повече от една координата. За теоретично изследване на пространственото вибрационно поведение бяха създадени два динамични модела – едномасов с шест (три линейни и три ъглови) степени на свобода и двумасов със седем (три линейни и четири ъглови) степени на свобода (Vrazhiski, 2008). При създаването на тези модели бе прието като хипотеза, че загубата на вибрационна енергия се дължи изцяло на съпротивления, пропорционални на първата степен на скоростта (вискозно демпфиране). За нуждите на симулационното изследване, стойностите на коефициентите на вискозно демпфиране бяха приети съгласно препоръчаните в (de Silva 2000, Иванов 2004, 1988) стойности за коефициента на относително затихване ξ . Връзката между коефициент на демпфиране b и относително затихване се дава с израза:

$$b = 2\xi\sqrt{cm}, N.s/m \quad (1)$$

където: $c, N/m$ - коравина на окачването; m, kg - вибрираща маса.

Целта на настоящото изследване е да се постигне експериментално потвърждение на резултатите от двата динамични модела, като се установят честотите на свободно затихващите трептения по трите линейни обобщени координати и се сравнят с теоретично получените стойности. Освен за собствените честоти, свободно затихващите трептения носят информация за характерът на загубите на вибрационна енергия. Познаването му прави възможно определянето на приближени стойности за коефициентите на демпфиране.

Съгласно (Минчев 1988, de Silva 2000, Нашиф 1988, Недялков 2007), честотите и коефициентите на демпфиране на свободно затихващите трептения могат да бъдат установени след измерване и анализ на вибро-премествания, вибро-скорости или вибро-ускорения. Допускайки начално възбуждане, предизвикващо хармонични трептения само по една степен на свобода (едномодални), за вибро-преместванията, вибро-скоростите и вибро-ускоренията са валидни следните изрази:

$$q(t) = A e^{-n.t} \cdot \sin(\omega.t) \quad (2)$$

$$\dot{q}(t) = A e^{-n.t} (\omega \cdot \cos(\omega.t) - n \cdot \sin(\omega.t)) \quad (3)$$

$$\ddot{q}(t) = A e^{-n.t} \left((n^2 - \omega^2) \sin(\omega.t) - 2.n\omega \cdot \cos(\omega.t) \right) \quad (4)$$

Видно, е че затихването се дължи на един и същи член а именно $A e^{-n.t}$. Останалата част от уравненията може да се определи като синусоида с честота ω и фазово отместване спрямо вибро-преместването, различно от $\pi/4$ и $\pi/2$.

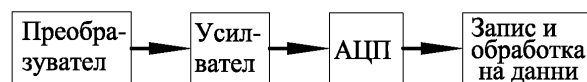
При вибрации е удобно измерванията да се извършват върху ускорение. Това е свързано с възможността за лесно получаване на скорост и преместване след интегриране. Обратното не е практикувано поради усилване на високо честотен шум. Друг фактор е големината на измерваната величина, обичайно преместването във вибрационните машини е малко по стойност и налага използване на преобразувател с висока разделителна способност. При ускоренията този проблем се забелязва само за ниско честотни трептения.

2. Последователност при провеждане на измерванията

От симулационните изследвания (Vrazhiski, 2008) бе установено, че очакваните собствени честоти по трите линейни обобщени координати попадат в диапазона 3÷40 Hz. Измервания в този честотен диапазон са възможни чрез кондензаторни, индуктивни и пиезо-електрични преобразуватели. За измервания на ниски честоти (0÷10 Hz) и постоянни ускорения често са употребявани тензометрични преобразуватели (Дамянов 2007).

В случая е използван двуосов кондензаторен акселерометър (*iMEMS® - integrated Micro Electro Mechanical System*), производство на *Analog Devices*, осигуряващ възможност за измерване на ускорения в

диапазона $\pm 2 g$ и $0 \div 5 kHz$. Структурната схема на измервателната уредба е представена на фиг.3. Подобна структурна схема е разгледана по-подробно в (Недялков 2007).



Фиг.3. Структурна схема на измервателната уредба.

Монтаж на акселерометърът към ВР е показан на фиг.4, фиг.5 и фиг 6.



Фиг.4. Измерване на ускорения по ОК x.



Фиг.5. Измерване на ускорения по ОК у.



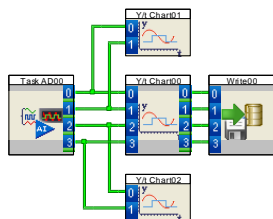
Фиг.6. Измерване на ускорения по ОК z.

Измерванията се провеждаха последователно за трите обобщени координати (трите главни инерционни оси на ВР). Смущение се прилагаше посредством единичен ударен импулс от ударна маса, равна на около $1/4$ от масата на ВР. За получаване на нисък "crest" фактор

(Dossing 1988) и съответно ограничаване на нелинейни явления в структурата на сепаратора, на ударната маса бе поставен гумен накрайник.

Честота на дискретизация бе приблизително 8 kHz, което в съгласие с теоремата за дискретите (Котелников, Шенон, Найкуист, Уиттекер и др.) осигурява значителен запас от сигурност срещу грешки от дискретизация спрямо диапазонът на очакваните честоти.

Запис и визуализация на сигнала се осъществяваше посредством програмния продукт *DASYLab*. Блок-схема на програма за запис чрез два двусови акселерометъра е показана на фиг.7.



Фиг.7. Блок-схема на *DASYLab* програма за визуализация и запис на сигнал от АЦП.

За окончателно кондициониране на сигналът и с оглед ограничаване на високочестотни шумове бе приложен ниско-честотен филтър изключващ честоти по-високи от 50 Hz.

3. Резултати

3.1. Демпфиране. (Времева област).

Обичайно коефициентите на демпфиране се определят чрез логаритмичния декремент на затихване (Недялков 2007, Дамянов 2007, de Silva 2000) по формулата:

$$\delta = \frac{1}{r} \ln \frac{A_i}{A_{i+r}} = \frac{2\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \quad (4)$$

където: δ - логаритмичен декремент на затихване; A_i и A_{i+r} - две амплитуди отместени на r периода

Този подход не предоставя възможност за обективна оценка на характерът на затихване. При избор на други амплитудни стойности и друг брой на периодите между тях, нерядко се получават значителни различия в пресметнатите стойности. В случая решение на проблемът е реализирано чрез използване на регресионен анализ. За целта е създадена *Matlab* програма, която изважда максимумите на ускоренията. През тези максимуми е построена зависимостта (5).

$$\ddot{q}(t) = A e^{-n.t} \quad (5)$$

Като резултат от регресионния анализ се получават стойности за коефициентите A , n и мярката на определеност (коефициент на регресия) R^2 . Резултатите са представени на фиг.8, фиг.9 и фиг.10. Клонящите към единица стойности на R^2 са доказателство за преобладаващо експоненциалния характер на затихването, от където с достатъчна за настоящата цел точност може да

се счита, че загубите на вибрационна енергия се дължат на вискозни съпротивления.

За определяне на коефициентите на демпфиране се провеждаха два вида измервания: с монтиран еластичен съединител и с демонтиран еластичен съединител. От измерванията с монтиран съединител бяха постигнати стойности за сумарните коефициенти на демпфиране b_{Σ} (6), а от измерванията с демонтиран съединител - коефициентите на демпфиране в четирите пружини b_{np} :

$$b_{\Sigma} = 2.n_{\Sigma}.m \quad (6)$$

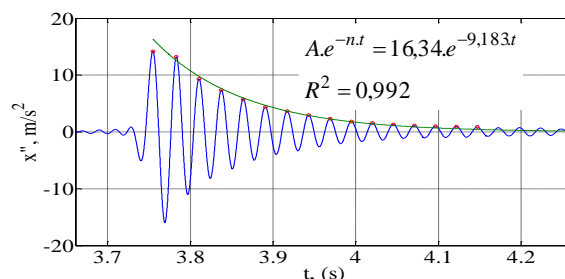
$$4.b_{np} = 2.n_{np}.m \quad (7)$$

Коефициентите на демпфиране в еластичния съединител $b_{св\text{ед}}$ бяха пресметнати по:

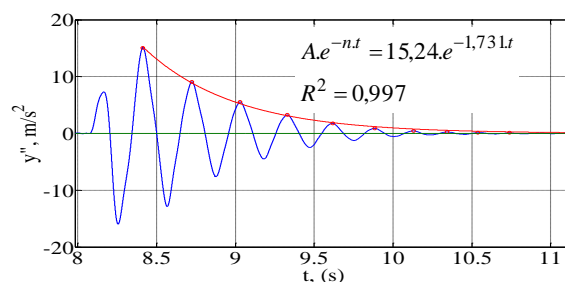
$$b_{св\text{ед}} = b_{\Sigma} - 4.b_{np} \quad (8)$$

Резултатите са представени в Таб.1.

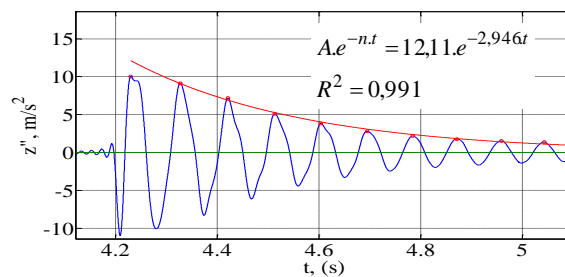
	Сумарен N.s/m	Пружина N.s/m	Съединител N.s/m
bx	1232,4	273,7	137,6
by	232,3	26,5	126,4
bz	395,4	77,0	87,4



Фиг.8. Ускорения на свободно затихващи трептения по ОК x.



Фиг.9. Ускорения на свободно затихващи трептения по ОК y.



Фиг.10. Ускорения на свободно затихващи трептения по ОК z.

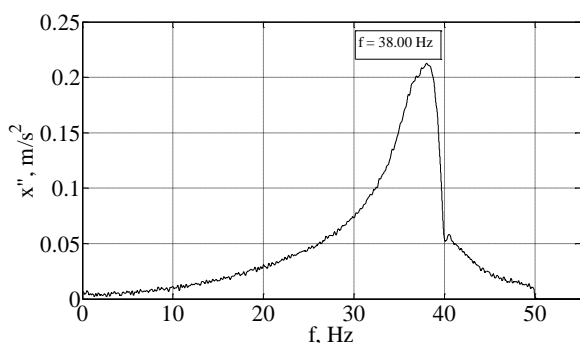
3.2. Собствени честоти. (Честотна област).

По-голям интерес представляват собствените честоти на системата при монтиран съединител, за това тук са представени само тези резултати.

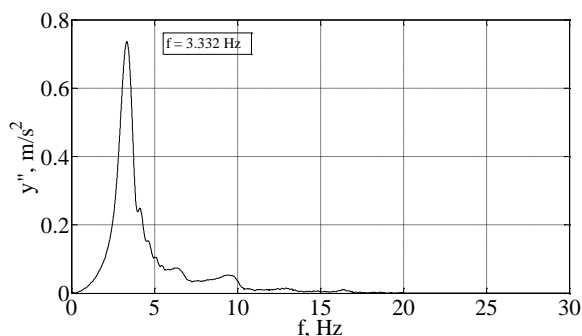
За получаване на амплитудният спектър на вибрационните и последващо установяване на собствените честоти е създадена *Matlab* програма, базирана на вградената функция *fft*. Програмата извършва бърза трансформация на Фурие (Fast Fourier Transformation) и представя резултатите в графичен вид (фиг. 11, 12, 13). Собствените честоти са отчетени като честоти на главните хармоници.

Сравнение между експериментални и теоретични резултати за честотите на главните хармоници на свободните трептения е представено в таблица 2. За оценка е използвана относителната грешка в проценти спрямо експериментално получените стойности.

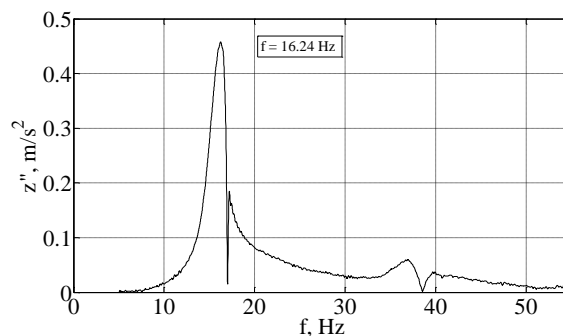
Таб. 2. Сравнение между теоретични и експериментално получени честоти					
ОК	Натурно измерване	Едномасов модел шест степени		Двумасов модел седем степени	
		Hz	%	Hz	%
X	38,00	36,56	-3,8	36,99	-2,7
Y	3,33	3,30	-1,1	3,30	-1,1
Z	16,24	17,52	7,9	17,61	8,4



Фиг.11. Амплитуден спектър на ускоренията по ОК x.



Фиг.12. Амплитуден спектър на ускоренията по ОК y.



Фиг.13. Амплитуден спектър на ускоренията по ОК z.

4. Изводи

Установени са експериментално собствените честоти на ВС по трите линейни обобщени координати.

Наблюдава се висока степен на съответствие с теоретично получените стойности.

Въз основа на регресионен анализ на свободно затихващите трептения е получен експоненциален закон на затихване. Това е прието като свидетелство за загуби на енергия предимно от съпротивления пропорционални на първата степен на скоростта (вискозно демпфиране).

От законът на затихване са пресметнати коефициенти на вискозно демпфиране в четирите листови пружини и еластичния съединител.

Литература

- Дамянов Ц., П. Неद्याков, Л. Лазов. 2007. Специални приложения на тензометрията за нискочестотна вибродиагностика в областта на минната техника. *Год. МГУ „Св. Ив. Рилски“*, т 50. Свитък III. 51-54.
- Иванов А.И. *"Динамика на строителните конструкции"*, София, 2004г.
- Минчев Н., В. Григоров. *Вибро-диагностика на ротационни и бутални машини*. София. Техника. 1988.
- Нашиф А., Д. Джоунс, Дж. Хендерсон. *Демпфиране на колебания*. Москва, Мир, 1988г.
- Неद्याков П. 2007. Методика на експерименталното изследване и анализ на вибрационните параметри на вертикална вибро-импулсна мелница. 2007. *Год. МГУ „Св. Ив. Рилски“*, т 50. Свитък III. 61-66.
- de Silva C.W. 2000. *Vibration: fundamentals and practice*. Boca Raton – Florida CRC Press.
- Vrazhiski Dr. 2008. Spatial dynamical modeling of multi positional vibration separator. *RECENT*, № 23. July 2008. Transilvania University Brasov. Romania
- Vrazhiski Dr. 2008. Spatial dynamical modeling of vibration separator with inertial excitation and account of gyroscopic effects. *RECENT*, № 23. July 2008. Transilvania University Brasov. Romania.
- Dossing O, Brüel & Kjær. 1988. Structural testing. Part: 1. <http://www.bksv.com/doc/br0458.pdf>

КОНФИГУРАЦИЯ НА МАГНИТНОТО ПОЛЕ НА ВИХРОВАТА МАШИНА ПРИ ОТСЪСТВИЕ НА ВТОРИЧНА СРЕДА

Константин Тричков, Владко Панов

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

РЕЗЮМЕ. Проведени са теоретични и експериментални изследвания на конфигурацията на магнитното поле на двуполусна вихрова машина при отсъствие на вторична среда. В непосредствена близост до зъбния слой и в двата края на активния обем се получават значителни неравномерности на магнитното поле. Доказва се че в останалата част на активния обем се получава практически хомогенно въртящо се магнитно поле.

MAGNETIC FIELD CONFIGURATION OF VORTEX MACHINE WITH NO SECONDARY MEDIUM PRESENT

Konstantin Trichkov, Vladko Panov

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

ABSTRACT. Theoretical and experimental investigations of a two-pole vortex machine magnetic field with no secondary medium present were implemented. Next to the tooth layer and in both the active volume ends big non-uniformity of the magnetic field is obtained. It is demonstrated that in the rest of the active volume there is practically homogeneous rotating magnetic field.

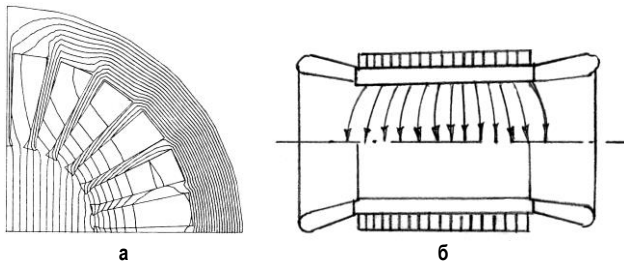
При една идеализирана двуполусна вихрова машина в активния обем следва да се получи двуполусно хомогенно въртящо се магнитно поле с магнитна индукция $B = \sqrt{2} \mu_0 k_{w1} A$ [1, 2] (μ_0 – магнитна константа на вакуума; k_{w1} – коефициент на намотката; A – линейно токово натоварване). При това, идеализацията се основава на предположението, че намотката е с безбройно много фази, че токовете протичат по безкрайно тънък слой, че магнитните материали на ярема са с безкрайно голяма магнитна проникваемост и че дължината е безкрайно голяма. При идеализираната машина естествено липсват краеве ефекти. Във връзка с въпросните идеализации следва да се направи оценка дали цитираният израз въобще е пригоден за целите на електромагнитното оразмеряване. Оценка е необходима още по отношение на неравномерностите на полето, които освен с валидността на въпросния израз са свързани и с движенията и разпределението на феромагнитните работни тела. Неравномерностите на магнитното поле могат да бъдат причина феромагнитните работни тела да се концентрират на определени места и с това да се намали ефективността на технологичния процес.

При една реална вихрова машина магнитната система и намотката, по идея съответстват на статора на една конвенционална синхронна или асинхронна машина, при които роторът е заменен с работна камера. Поради ниската стойност на магнитната индукция на въртящото се магнитно поле (0,1 ÷ 0,2)Т и поради високите стойности на линейното токово натоварване (2 ÷ 3 пъти над нормалното) се налага използването на много големи

канални и много тесни и високи зъби. Яремът на статорния пакет, пак поради ниската стойност на магнитната индукция, се получава с много малка ширина. Впрочем ширината и на зъбите и на ярема следва да се приеме по съображения за механическа устойчивост и по технологични съображения. Поради това и зъбите и ярема остават ненаситени, което означава, че магнитните съпротивления и на зъбите и на ярема трябва да се преодоляват с помощта на незначителни магнитодвижещи напрежения.

При една реална вихрова машина съществено значение придобиват краевите ефекти: радиални – в съседство с короните на зъбите и аксиални – в пространството от двете страни на активния обем. Радиалният краев ефект се изразява в съгъстяване на силовите линии към коронките на зъбите. Това води до повишение на магнитодвижещото напрежение необходимо за преодоляване на магнитното съпротивление през въздушната среда на активния обем (фиг. 1 а). Аксиалният краев ефект се изразява в разреждане на силовите линии от двете страни на активния обем (фиг. 1б). Това води до намаление на необходимото магнитодвижещо напрежение за преодоляване на магнитното съпротивление през въздушната среда на активния обем и извън него в съседство с двата му края. Аксиалният краев ефект води до силно изразени аксиални компоненти на магнитната индукция, които могат да предизвикат повишени загуби от вихрови токове в зъбите на крайните пластинки. Опасността от прекомерно развитие на аксиални компоненти е една причина за употребата на немагнитни

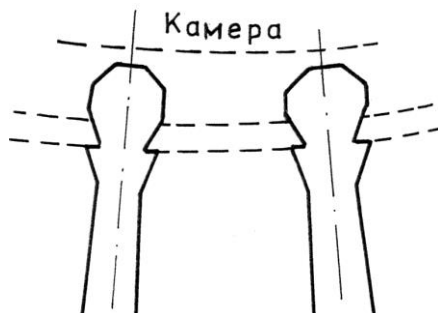
елементи (пръстени и палци) за механическо укрепване на пакета.



Фиг. 1

Във връзка с валидността на цитирания по-горе израз за магнитната индукция и във връзка с краевите ефекти са извършени широк обем изследвания. На първо място могат да бъдат посочени изследванията с помощта на метода на крайните елементи [1, 3, 4]. Те се отнасят за сечения, които са перпендикулярни на оста на активния обем и достатъчно отдалечени от двата края на пакета. Получена е конфигурацията на полето – представена с помощта на силови линии. Ясно личат неравномерностите от краевия ефект близо до коронките на зъбите и практически постоянната стойност на магнитната индукция извън зоната на коронките на зъбите.

На второ място могат да бъдат посочени широкият обем от експериментални изследвания. Те включват изследвания във връзка с оценка на технологичния ефект и измервания на параметрите на полето. Изследванията във връзка с оценка на технологичния ефект показваха, че той протича с благоприятна интензивност при стойност на магнитната индукция на въртящо магнитно поле примерно в границите на $(0,1 \div 0,2)T$. Освен това, същите изследвания показваха още, че неравномерностите на полето не влияят забележимо върху движението на работните тела. Като основен признак във връзка с това може да се смята равномерният шум, който съпътства обработката на съответните вещества. Ако се получаваша натрупвания на работните тела биха се появили пулсации на шума. Такива пулсации не се появяваха дори тогава когато работната камера беше разпологана ексцентрично и от едната си страна се допираше до коронките на зъбите. Във връзка с неравномерностите на полето в съседство с коронките на зъбите, следва да се отбележи, че опасността от смущения в движението на работните тела става още по-малка и по друга причина. Там нормално се разполага охладителен канал и немагнитната цилиндрична стена на камерата.



Фиг. 2

Отсъствието на проблеми по натрупване на работни тела в съседство с коронките на зъбите стимулираха да бъде предложена нова нетрадиционна за електромашиностроенето форма на зъбите съгласно фиг. 2. Основната идея при тези зъби е да се подобри тяхното охлаждане и да се намали активния диаметър, а с това и консумираната активна и реактивна енергия.

По-горе стана въпрос и за краевия ефект от двете страни на пакета, който беше наречен аксиален краевия ефект. Поради него би следвало да се очаква работните тела да се привличат все по-навътре и да настъпи натрупване към средата на активния обем. Експериментите показаха, че такова натрупване в действителност не се получава. Като доказателство за това, може да се смята фактът, че върху стените на работната камера остават следи от ударите на работните тела по цялата дължина на активния обем. Отсъствието на неблагоприятно отражение на краевите ефекти (радиален и аксиален) върху технологичния процес може да се обясни с интензивните динамични взаимодействия между работните тела. Те се удрят помежду си и не е възможно да се натрупват в зоните на неравномерности на полето.

Във връзка с аксиалния краевия ефект може да се дефинира параметърът изчислителна дължина l_s на вихровата машина. За сега няма достатъчно данни за една точна формула и може да се смята за целесъобразно изчислителната дължина l_s да се приеме за равна на активната дължина l_a или $l_s = l_a$.

Експериментални изследвания бяха приведени и по отношение на цитирания в началото израз за стойността на магнитната индукция в активния обем $B = \sqrt{2}\mu_0 k_w A$. Бяха направени и някои изчисления и в резултат беше прието, че е подходящо да се въведе един корекционен коефициент k_B , като изразът придобие вида: $B = \sqrt{2}k_B \mu_0 k_w A$.

При това е подходящо корекционният коефициент да се приеме със стойност $k_B = 0,96$, т.е. само около 4% от магнитодвижещото напрежение служи за преодоляване на магнитното съпротивление на зъбите и яремите и на участъка във въздушната среда в областта на краевите ефекти при зъбния слой. Тази стойност на k_B следва да се смята като уточнена окончателно в сравнение с първоначалното предположение [2], за 0,98.

Изводи

Въз основа на проведените теоретични и експериментални изследвания по отношение конфигурацията на магнитното поле на двуполусната вихрова машина при отсъствие на вторична среда могат да се направят следните изводи:

1. На разстояние не много далеч от коронките на зъбите и от двата края на активния обем, се получава практически хомогенно въртящо се магнитно поле със стойност на магнитната индукция, която е много близка до

получената по опростената изчислителна формула

$$B = \sqrt{2} \mu_0 k_{\text{вн}} A.$$

2. В непосредствена близост до зъбния слой и в двата края на активния обем се получават значителни неравномерности на магнитното поле. При проведените експериментални изследвания, обаче не са констатирани смущения в движенията на феромагнитните работни тела и в протичането на технологичния процес.

Литература

1. Панов, Вл., К. Брандиски, К. Костов. *Двуполюсно въртящо се магнитно поле при отсъствие на*

вторична среда, V НТК – ЕЛМА 87, ВМЕИ – Варна, 1987.

2. Панов Вл. К. Костов, К. Тричков. *Експериментално изследване на конфигурацията на въртящо се магнитно поле при двуполюсна магнитна система*, Научно-техническа конференция ЕЛМА'81, София.

3. Panov, V., K. Brandiski, K. Kostov. *An investigation of a twopole rotating magnetic field with no secondary medium present using finite element method*, International Journal of Computer Applications in Technology, Volume 2, No 1, 1989.

4. Silvester, P.P. and Ferrari, R. L. (1983) *Finite Elements for Electrical Engineers*. Cambridge University Press.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Електротехника", МЕМФ

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ЯКОСТ И ДИЕЛЕКТРИЧНИТЕ ЗАГУБИ НА ГЛАВНА ИЗОЛАЦИЯ ОТ CONDUCTOFOL 2159

Константин Тричков, Константин Костов

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

РЕЗЮМЕ. Извършено е експериментално изследване за определяне на електрическата якост и диелектричните загуби на главна изолация от Conductofol 2159, производство на фирма Isovolta – Австрия, използван при производство и ремонт на секции за високоволтови асинхронни двигатели. Изпитанията на активните части на 8 броя образци са проведени във високоволтова изпитателна лаборатория на Елпром ЗЕМ, гр. София.

INVESTIGATION OF ELECTRICAL STRENGTH AND DIELECTRIC LOSS OF MAIN ISOLATION OF CONDUCTOFOL 2159

Konstantin Trichkov, Konstantin Kostov

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

ABSTRACT. An experimental investigation is performed to determine the electrical strength and dielectric loss of main insulation, made of Conductofol 2159, manufactured by ISOVOLTA, Austria. This material is used in the production and repair of high-voltage induction motor coils. The tests of the active parts of eight samples were conducted in the high-voltage testing laboratory of ELPROM – ZEM, Sofia.

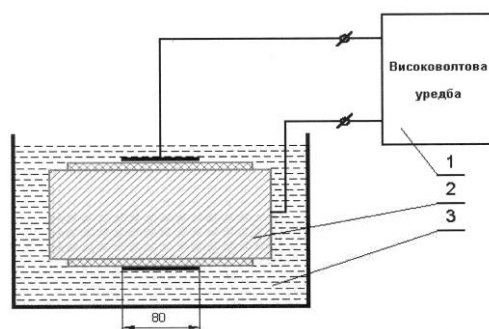
Проведени са експериментални изследвания за определяне на електрическата якост и диелектричните загуби на главна изолация от Conductofol 2159 [1, 2] на 8 броя образци на активните части на секции за високоволтови асинхронни двигатели. Активните части на образците представляват сноп изолирани проводници тип ПСД – F с размери (1,8 x 5,0) mm. Всички образци са с еднакви размери, но с различна дебелина на изолацията и различен температурен режим на обработка.

Таблица 1

№ на образеца	1	2	3	4	5	6	7	8
Дебел. на изолацията d [mm]	1,0	1,0	1,5	1,5	2,0	2,0	2,5	2,5
Брой навивки Conductofol	12	12	18	18	25	25	31	31
Температура на обработка [°C]	120	160	120	160	120	160	120	160

Измерване на пробивното напрежение, определяне на електрическата якост на главна изолация от Conductofol 2159

Пробивното напрежение и ел.якост са основни характеристика на всеки електроизолационен материал. Съгласно БДС 2324-83 [3], пробивното напрежение на образците е измерено посредством опитна постановка, показана фиг. 1.



Фиг. 1. Опитна постановка за изпитване на пробивно електрическо напрежение
 където: 1 – Високоволтова уредба тип WPT 4,4/100-6RT 6/120;
 2 – Изпитван образец;
 3 – Трансформаторно масло с електрическа якост $E_M > 250$ kV/mm

На база получените резултати за пробивното напрежение е изчислена електрическата якост по формулата:

$$E = \frac{U_{np}}{H_s}, \text{ kV/mm}$$

където: H_s – дебелина на изолацията, mm

В таблица 2 са показани резултатите от измерване на пробивното напрежение U_{np} и изчислената електрическа якост E за осемте броя образци на активни части на секции, изолирани с Conductofol 2159.

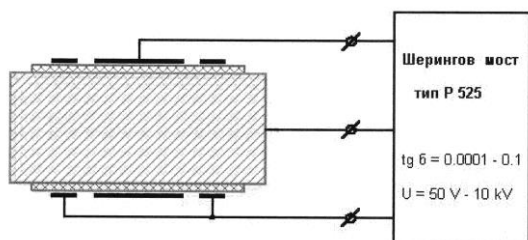
Таблица 2

Образец №	1	2	3	4	5	6	7	8
U_{np} [kV]	76	82	112	>120	>120	>120	>120	>120
E_{np} [kV]	76	82	74,7	>80	>70	>70	>70	>70

От получените резултати е видно, че електрическата якост на материала Conductofol 2159 е сравнително висока. Това се дължи на високата електрическа якост на фолиото от полиетилентерафталат (над 110 kV/mm) и високият му процент в състава на Conductofol 2159 (над 35%). Това е и причината при част от образците да не настъпи пробив до изпитвателно напрежение от 120 kV. Вижда се, че при образците, термично обработени при 160°C, ел.якост е по висока. Това се дължи на по-доброто уплътняване на материала и по-добрата термична формовка. Може да се заключи също, че при по-малките дебелини на положената изолация, времето е достатъчно за добра термична обработка.

Измерване на диелектричните загуби tgδ

Съгласно БДС 6727-83, коефициентът на диелектричните загуби tgδ се определя посредством питна постановка показана на фиг. 2. Предварително образците се подготвят като им се поставят електроди от алуминиево фолио [4].



Фиг. 2. Опитна постановка за измерване на коефициента на диелектричните загуби tgδ

Измерванията са извършени с Шерингов мост тип Р 525. Коефициентът tgδ е измерен при няколко различни напрежения в диапазона 1000 – 6000 V и честота 50 Hz.

В таблица 3 са показани резултатите от измерването на коефициентите на диелектричните загуби tgδ. 10⁻³.

Таблица 3

Образец №	1	2	3	4	5	6	7	8
$U_z = 1000[V]$	63,8	63,2	64,6	64	65,3	64,7	66,4	65,8
$U_z = 2000[V]$	64,1	63,6	65,5	64,7	66,4	65,2	68,5	67,3
$U_z = 4000[V]$	65,4	64,4	66,7	66,5	67,6	66,9	70,3	69,1
$U_z = 6000[V]$	66,7	65,8	68,2	67,4	68,4	68,2	72,0	71,4

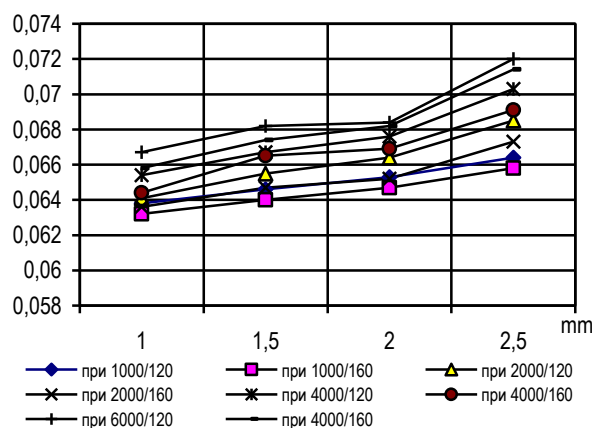
В таблица 4 и с графично представяне са показани резултатите от изследванията на зависимостта на tgδ от дебелината на изолацията при различно напрежение и температури на обработка. Опитните образци с номера 1, 3, 5 и 7 получават номера от 1 до 4, при термична обработка на изолацията 120°C. Образците с номера 2, 4, 6 и 8 също получават номера от 1 до 4, но са обработени

при температура 160°C. По този начин сравнително лесно се анализират резултатите за образци, изработени при различни температури.

Таблица 4

$U_{изп}$ [V]	$T_{изр}$ [°C]	Дебелина на изолацията [mm]			
		1	1,5	2	2,5
1000	120	0,0638	0,0646	0,0653	0,0664
	160	0,0632	0,064	0,0647	0,0658
2000	120	0,0641	0,0655	0,0664	0,0685
	160	0,0636	0,0647	0,0652	0,0673
4000	120	0,0654	0,0667	0,0676	0,0703
	160	0,0644	0,0665	0,0669	0,0691
6000	120	0,0667	0,0682	0,0684	0,072
	160	0,0658	0,0674	0,0682	0,0714

Измерен коефициент на диелектричните загуби



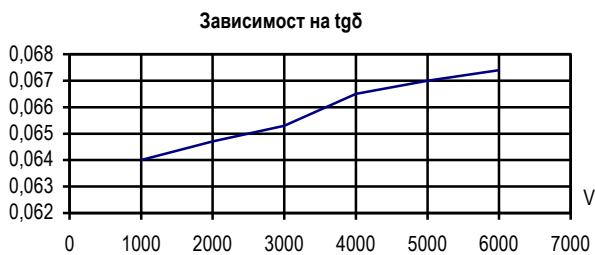
Анализът на получените графики показва известно разминаване на опорните точки, дължащо се както на грешки в измерванията, така и на голямото влияние на повърхностните загуби в изолационната система. Независимо от това, общите тенденции са ясно забележими, а именно:

- с нарастване на дебелината на изолацията се повишава (макар и в малка степен) tgδ.
- по-нисък коефициент tgδ се получава при образците обработени при по-висока температура. Навсякъде изолацията, обработени при 160°C са с по-нисък tgδ от тези, обработени при 120°C.

Ясно е изразена зависимостта на tgδ от изпитвателното напрежение. Видно е, че при високите изпитвателни напрежения, диелектричните загуби растат. В таблицата 5 и с графично представяне е показана тази зависимост за образца с дебелина на изолацията 1,5 mm, обработена при температура 160°C.

Таблица 5

Изпитвателно напрежение [V]	1000	2000	4000	6000
Коефициент tgδ	0,064	0,0647	0,0665	0,0674



Заклучение

Като цяло резултатите от експерименталното изследване на електрическата якост и диелектричните загуби потвърждават предварителните разчети от конструктивно-технологичната разработка на изолационната система изработена с Conductofol 2159. По-важните изводи, които могат да се направят са следните:

- Електрическата якост на изолационната система е сравнително висока. За сравнение с други изолационни системи, при които пробивната напрегнатост не надминава 50 kV/mm, при изолационната система с Conductofol 2159e минимум с 40% по-висока.
- Параметрите на изолационната система с Conductofol 2159 слабо зависят от режимите на обработка на

изолацията. Това се дължи на голямото съдържание на PET-фолио в материала, а фолиото практически не се променя при термичната обработка. Разликите, които все пак са на лице се обясняват с полимеризацията на свързващото вещество в слюденитовата хартия от една страна, и на различната евакуация на въздушните включения от друга. Влияние оказва също и евентуалното замърсяване на изолацията през време на обработката. Това се отнася с голяма сила за повърхностните загуби, поради което по време на работа трябва да се спазва висока чистота на манипулациите.

- Сравнително не много добрия коефициент на диелектричните загуби се дължи предимно на повърхностните загуби. За нуждите на електрическите машини обаче стойностите са достатъчно ниски и практически са съизмерими с tgδ на изолационни системи от други материали. По литературни и проспектни данни последните се движат от 0,02 до 0,08 (Calmikaglas 2005 – 0,02).

Литература

1. Каталогни данни и разработки на фирмата ISOVOLTA, Австрия.
2. Каталогни данни за Conductofol 2159.
3. БДС 2324-83.
4. БДС 6727-83

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Електротехника", МЕМФ

ВЪЗБУДИТЕЛИ НА БЯГАЩО МАГНИТНО ПОЛЕ ЗА ВИХРОВИ МАШИНИ

Константин Тричков, Константин Костов

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, E-mail: ccostow@yahoo.com

РЕЗЮМЕ. Изчислява се магнитният интензитет в работния обем на различни видове линейни възбудители на бягащи магнитни полета, задвижващи ферромагнитни работни частици за интензифициране на технологични процеси. Основно изискване за оптималното протичане на такива процеси е хомогенността на полето в отсъствие на работните частици. Изследването се извършва чрез уравненията на Лаплас по отношение на скаларния магнитен потенциал. Получените резултати дават възможност за електромагнитно изчисляване на възбудителите и за сравняване на тяхната ефективност при постигането на необходимите характеристики на полето.

TRAVELLING MAGNETIC FIELD EXCITERS FOR VORTEX MACHINES

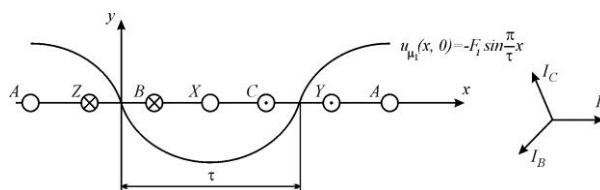
Konstantin Trichkov, Konstantin Kostov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, E-mail: ccostow@yahoo.com

ABSTRACT. Magnetic intensity in the working volume of various kind of travelling magnetic field exciters that drive ferromagnetic working particles for intensification of industrial processes is calculated. Principal requirement of optimal process flow is the field uniformity in absence of the working particles. The investigation is carried out by means of Laplace's equation toward the scalar magnetic potential. The results obtained provide a possibility for electromagnetic calculation of exciters and to compare their efficiency about achieving the necessary field features.

В някои публикации и патенти се описват устройства за технологична обработка на материали с помощта на въртящи се магнитни полета (вихрови машини), задвижващи множество работни ферромагнитни частици, в които възбудителят представлява един или два статора на линейен асинхронен двигател (Ta-Hsin et al., 2004; Jones, 2006). Липсва обаче информация за изследвания на магнитното поле на възбудителите, както и за обосновка на начина на свързване на намотките на двата статора. В настоящата работа се разглеждат възможните конструкции на възбудители на бягащо (в глобален смисъл) поле, което се изследва при следните допускания:

1. Повърхнината на възбудителя е гладка и непрекъсната, без зъби и канали;
2. Токовете са съсредоточени по пресечниците на повърхнината на индуктора с равнини, перпендикулярни на нея, минаващи по надлъжните оси на съответните реални канали.
3. Магнитната проницаемост на магнитопровода на възбудителя е безкрайна.
4. Магнитното поле е квазистационарно.
5. Приема се, че индукторът е с безкрайна ширина. По този начин се елиминират влиянието на челните съединения и краевите ефекти в аксиално направление. Полето се разглежда като плоскопаралелно.
6. Приема се, че индукторът е с безкрайна дължина. Следователно се пренебрегват краевите ефекти, дължащи се на крайната дължина на индуктора (ефект на краищата) (Насар и др., 1981; Ямамура, 1983).



Фиг. 1. Едностаторен линейен индуктор

Едностаторен индуктор

Нека координатната система xOy е разположена така, че оста x е по повърхнината на статора, а оста y – по оста на фазната намотка с нулев начален ток A , фиг. 1. Чрез закона за пълния ток се намира м.д.н., а оттам – магнитният потенциал по повърхнината на статора $u_{\mu}(x, 0)$, като се приема, че $u_{\mu}(0, 0) = 0$. За момента $t = 0$, y е ос на симетрия на еднакви по големина и посока токове. Следователно векторът на полето е перпендикулярен на нея и тя е екипотенциална линия. Поради това $u_{\mu}(0, y) = 0$. За същия момент линията $x = \tau/2$ е ос на огледална симетрия (спрямо нея са симетрично разположени токове с противоположни стойности). Затова $\left(\frac{\partial u_{\mu}}{\partial x}\right)_{x=\tau/2} = 0$. При тези смесени гранични условия се решава уравнението на Лаплас в Декартова система:

$$\frac{\partial^2 u_\mu}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_\mu}{\partial y^2} = 0. \quad (1)$$

Процедира се по метода на Фурие и след определянето на потенциала, за интензитета в произволен момент се намира, (Костов, 2007)

$$H_x = \pm \sum_{v=1}^{\infty} H_v \cos\left(\omega t \mp v \frac{\pi}{\tau} x\right) \exp\left(-v \frac{\pi}{\tau} y\right),$$

$$H_y = \sum_{v=1}^{\infty} H_v \sin\left(\omega t \mp v \frac{\pi}{\tau} x\right) \exp\left(-v \frac{\pi}{\tau} y\right), \quad (2)$$

където

$H_v = \sqrt{2} k_{wv} A$ е модулът на вектора на v -тия хармоник на полето;

v е нечетно, а за трифазна машина – и некратно на три цяло число.

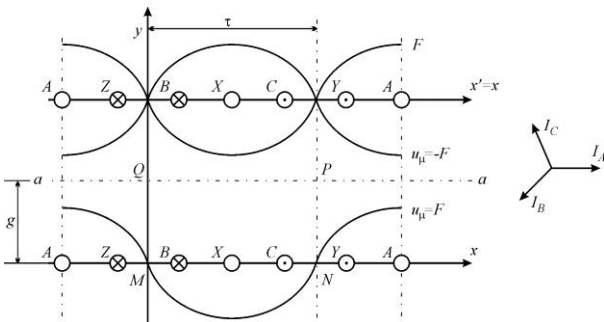
Формули (2) показват, че векторът на v -тия хармоник на полето във фиксирана точка е кръгово въртящ с честота на въртене $\pm \omega$. Както се вижда, честотата на въртене е с различна посока за правите и обратните хармоници, но не зависи нито от номера на хармоника, нито от броя на полюсите, а само от честотата на захранващото напрежение. От (2) следва, че полето на всички хармоници е нехомогенно, като намалява с отдалечаването от индуктора по експоненциален закон.

Полето на v -тия хармоник е бягащо дотолкова, доколкото картината му се премества по оста x със скорост

$$\dot{x}_v = \pm \frac{\omega \tau}{v \pi} = \pm \frac{2f\tau}{v}.$$

Двустаторен индуктор

Сериозна слабост на разглежданата магнитна система е бързото намаляване на полето при увеличаване на ординатата. До известна степен това се избягва при двустаторен индуктор. Първо ще бъде разгледан случаят, в който двата статора създават съпосочни полета.



Фиг. 2. Двустаторен индуктор за съпосочни полета

Разполагаме оста y така, че да съвпада с оста на фаза A , чийто ток в началния момент $t = 0$ е равен на нула; оста x е по повърхнината на долния статор, фиг. 2. Приемаме, че **токовете с равни абсциси в двата статора са равни по големина и посока**. Фазите в двата статора следват отляво надясно в реда A, B, C . Следователно м.д.н. на всеки от статорите е

$$F = \sum_{v=1}^{\infty} F_v \sin\left(\omega t \mp v \frac{\pi}{\tau} x\right),$$

$$\text{където } F_v = \frac{m\sqrt{2}}{\pi} \frac{w k_{wv}}{v p} I = \frac{\sqrt{2}}{2\pi} \frac{k_{wv}}{v p} A I.$$

По повърхнината на горния статор потенциалът е $u_\mu = -F$, а по долния $u_\mu = F$. Скоростта на вълната на v -тия хармоник на потенциала е

$$\dot{x}_v = \pm \frac{\omega \tau}{v \pi} = \pm \frac{2f\tau}{v}.$$

По симетрични съображения приемаме, че по осевата линия $a-a$ на активния обем потенциалът е нулев. По същите съображения е достатъчно да се разгледа полето само в правоъгълника $MNPQ$. В момента $t = 0$ оста y е ос на симетрия на еднакви токове за $y = 0$ и за $y = g$. Поради това навсякъде по нея компонентата на полето $H_y(0, y) = 0$. Като вземем предвид и необходимостта от непрекъснатост на потенциала се приема, че по линията MQ (а поради съществуващата периодичност – и по PN), $u_\mu = 0$. И така, в момента $t = 0$

$$u_\mu(0, y) = 0, \quad u_\mu(\tau, y) = 0,$$

$$u_\mu(x, g) = 0, \quad u_\mu(x, 0) = \sum_{v=1}^{\infty} F_v \sin\left(\mp v \frac{\pi}{\tau} x\right). \quad (3)$$

При тези условия трябва да се реши задачата на Дирихле за уравнението на Лаплас (1).

По метода на Фурие представяме както по-горе решението, равно на произведението от две функции:

$$u_\mu = X(x)Y(y).$$

Окончателният вид на магнитния потенциал в правоъгълника $MNPQ$ за произволен момент е

$$u_\mu(x, y, t) = \sum_{v=1}^{\infty} \frac{F_v}{\text{sh} v \frac{\pi}{\tau} g} \sin\left(\omega t \mp v \frac{\pi}{\tau} x\right) \cdot \text{sh} v \frac{\pi}{\tau} (g - y). \quad (4)$$

В уравнение (4) участват само нечетните, некратни на три хармоници.

Магнитният интензитет във всяка точка от правоъгълника $MNPQ$ е

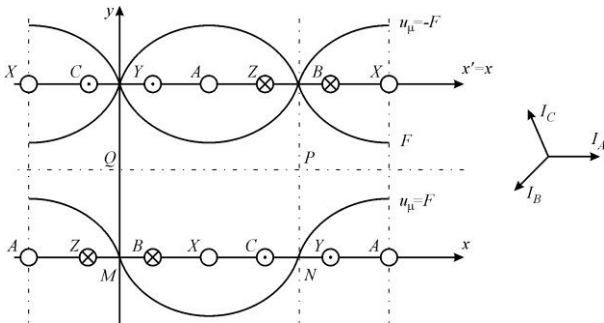
$$H_x = -\frac{\partial u_\mu}{\partial x} = \pm \sum_{v=1}^{\infty} H_v \cos\left(\omega t \mp v \frac{\pi}{\tau} x\right) \cdot shv \frac{\pi}{\tau} (g-y), \quad (5)$$

$$H_y = -\frac{\partial u_\mu}{\partial y} = \sum_{v=1}^{\infty} H_v \sin\left(\omega t \mp v \frac{\pi}{\tau} x\right) \cdot chv \frac{\pi}{\tau} (g-y),$$

където $H_v = v \frac{\pi}{\tau} \frac{F_v}{shv \frac{\pi}{\tau} g}$.

При еднакво подреждане на фазите на двата статора, последните създават противоположни полета, ако **токовете с еднакви абсиси в тях са с противоположни стойности**, фиг. 3. В този случай потенциалите с еднакви абсиси по повърхнините на двата статора са еднакви по знак и големина. Анализът се извършва по същия начин, като се разглежда първо в момента $t=0$ полето в правоъгълник, аналогичен на $MNPQ$ от фиг. 2. Разликата е само в граничното условие по линията $y=g$. Вместо $u_\mu(x, g) = 0$, тук се приема

$$\left(\frac{\partial u_\mu}{\partial y}\right)_{y=g} = 0.$$



Фиг. 3. Двустаторен индуктор за противоположни полета

За произволен момент

$$u_\mu(x, y, t) = \sum_{v=1}^{\infty} \frac{F_v}{chv \frac{\pi}{\tau} g} \sin\left(\omega t \mp v \frac{\pi}{\tau} x\right) \cdot chv \frac{\pi}{\tau} (g-y).$$

Магнитният интензитет във всяка точка е

$$H_x = \pm \sum_{v=1}^{\infty} H_v \cos\left(\omega t \mp v \frac{\pi}{\tau} x\right) \cdot chv \frac{\pi}{\tau} (g-y), \quad (6)$$

$$H_y = \sum_{v=1}^{\infty} H_v \sin\left(\omega t \mp v \frac{\pi}{\tau} x\right) \cdot shv \frac{\pi}{\tau} (g-y),$$

където $H_v = v \frac{\pi}{\tau} \frac{F_v}{chv \frac{\pi}{\tau} g}$.

Ако съставните индуктори са с **еднакъв фазов ред** се установява, че с отдалечаване от статорите при съпосочни полета бързо намалява компонентата на полето по x , а

при противоположни – по y . По средата между двата статора съответната за дадения вид свързване компонента се анулира. Ето защо векторът на нито един хармоник на полето във фиксирана точка не е кръгово въртящ, а в голяма част от работния обем полето е силно елиптично.

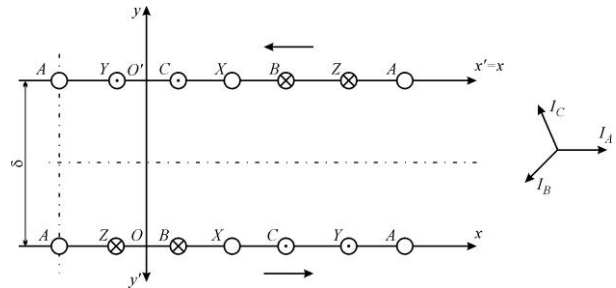
Двустаторният индуктор с **различен фазов ред**, т.е. за насрещно бягащи полета, е показан на фиг. 4. Оста y съвпада с оста на фаза A , чийто ток в началния момент е равен на нула. В горния статор фази B и C са разменени спрямо последните в долния, така че полето на основния му хармоник е ляво бягащо. Анализът се извършва поотделно за полетата на всеки от статорите и се прилага суперпозиция. Приема се, че повърхнината на статора, който в конкретния случай не е възбудител, е екипотенциална.

Разглежда се първо полето на долния статор в същата координатна система xOy . В момента $t=0$, както и по-горе, оста y е екипотенциална. Същевременно по повърхнината на долния статор

$$u'_\mu(x, 0) = \sum_{v=1}^{\infty} F_v \sin\left(\mp v \frac{\pi}{\tau} x\right), \quad \text{т.е.} \quad u'_\mu(0, 0) = 0.$$

Следователно потенциалът по оста y е нула. Същото се отнася за линията $y=\tau$, защото полето е периодично.

Поради непрекъснатостта на потенциала, той е равен на нула и по повърхнината на горния статор. По този начин са дефинирани гранични условия от I род за правоъгълник. Определя се потенциалът, а чрез него – интензитетът на долния статор, (Костов, 2007)



Фиг. 4. Двустаторен индуктор с различен фазов ред

$$H'_x = \pm \sum_{v=1}^{\infty} H_v \cos\left(\omega t \mp v \frac{\pi}{\tau} x\right) \cdot shv \frac{\pi}{\tau} (\delta-y), \quad (7)$$

$$H'_y = \sum_{v=1}^{\infty} H_v \sin\left(\omega t \mp v \frac{\pi}{\tau} x\right) \cdot chv \frac{\pi}{\tau} (\delta-y),$$

където $H_v = v \frac{\pi}{\tau} \frac{F_v}{shv \frac{\pi}{\tau} \delta}$.

Полето на горния статор се анализира аналогично в координатна система $x'O'y'$, фиг. 4, след което резултатът се трансформира в система xOy . Получава се

$$H_x'' = \pm \sum_{v=1}^{\infty} H_v \cos\left(\omega t \pm v \frac{\pi}{\tau} x\right) \cdot sh v \frac{\pi}{\tau} y, \quad (8)$$

$$H_y'' = \sum_{v=1}^{\infty} H_v \sin\left(\omega t \pm v \frac{\pi}{\tau} x\right) \cdot ch v \frac{\pi}{\tau} y.$$

При направените допускания условията са линейни и може да се приложи суперпозицията. Интензитетът в работното пространство на двустаторен индуктор с различен фазов ред е, (Костов, 2007)

$$H_x = \pm \sum_{v=1}^{\infty} H_v \left[\cos\left(\omega t \mp v \frac{\pi}{\tau} x\right) sh v \frac{\pi}{\tau} (\delta - y) + \cos\left(\omega t \pm v \frac{\pi}{\tau} x\right) sh v \frac{\pi}{\tau} y \right],$$

$$H_y = \sum_{v=1}^{\infty} H_v \left[\sin\left(\omega t \mp v \frac{\pi}{\tau} x\right) ch v \frac{\pi}{\tau} (\delta - y) + \sin\left(\omega t \pm v \frac{\pi}{\tau} x\right) ch v \frac{\pi}{\tau} y \right].$$

При сравняване на полетата на двустаторни индуктори с еднакъв и с различен фазов ред се установява (Костов, 2007), че при последния във всяка точка има относително близки по големина компоненти на интензитета по двете оси, дефазирани на $\pi/2$. Ето защо няма област от работния обем с пулсиращо или близко до пулсиращо поле – навсякъде полето е елиптично, близко до кръгово въртящо. При това тук максималното изменение на всяка от компонентите е много по-малко, ако се обходят всички точки. Освен това, ако се вземат под внимание размерите на тялото по оста x , двете бягащи полета предизвикват

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Електротехника", МЕМФ

постъпателно движение на центъра на тежестта му. Под линията $y = \delta/2$ дясно бягащото поле е по-силно и движението е в посока $+x$, над нея ляво бягащото поле води до преместване в обратната посока. Технологичният ефект е положителен, защото така се постига по-добро хомогенизиране на обработваемия материал. Затова се прилагат предимно двустаторни индуктори и то изключително с различен фазов ред.

Получените резултати дават възможност за електромагнитно изчисляване на възбудителите и за сравняване на тяхната ефективност при постигането на необходимите характеристики на полето.

Литература

- Костов, К. 2007. Магнитно поле, параметри и електромагнитно оразмеряване на вихрова машина. Дис. за н. и обр. ст. „доктор“. МГУ „Св. И. Рилски“, София, 2007, 185 с.
- Насар, С. А., И. Болдеа. 1981. *Линейные тяговые электрические машины*. М., Транспорт, 175 с.
- Ямамура, С. 1983. *Теория линейных асинхронных двигателей*. Л., Энергоатомиздат, 179 с.
- Jones, T. B. 2006. *Electromechanics of particles*. Cambridge Univ. Press.
- Ta-Hsin, Ch., W. Lee, L. Chen. 2004. *Method and device for grinding particulates*. USA Patent № 6719610.

ДИНАМИЧНИ ПРОЦЕСИ ВЪВ ВЕНТИЛАЦИОННИ ВЕРИГИ ПРИ МАЛКИ СМУЩЕНИЯ

Константин Тричков, Ромео Александров, Андрей Козаров

Минно-Геоложки Университет "Св. Иван Рилски" – София 1700, България

РЕЗЮМЕ. В настоящата статия се разглежда сравнително прост приблизителен метод за получаване на честотните характеристики на вентилационна верига, които са необходими за изследване на импулсно управление. Създадения променлив режим изисква да се отчитат не само статичните вентилационни съпротивления, но още инертността и свиваемостта на въздуха.

DYNAMIC PROCESSES IN VENTILATION CIRCUITS UNDER SMALL DISTURBANCES

Konstantin Trichkov, Romeo Alexandrov, Andrei Kozarov

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

ABSTRACT. The present paper considers comparatively simple approximate method to obtain frequency characteristics of a ventilation circuit which are necessary for investigation of the pulse control. The changeable regime created requires giving an account not only of the static ventilation resistances but of inertia and compressibility of the air as well.

Въведение

За разглеждане на възможностите за импулсно регулиране на въздушните количества е необходимо да се определят времената на преходните процеси възникващи във вентилационната верига. Това се налага от необходимостта за намиране на промеждутъците от време през които трябва да се подават управляващите импулси към силовите преобразуватели от задвижването на вентилатора.

В [1] е разгледан подобен въпрос във връзка с отчитане на технологичните величини от датчици. Постановката на задачата там, обаче е при достатъчно плавно изменение на режима на проветряване, което е дава възможност за пренебрегване на свиваемостта на въздушния поток. Отчита се само неговата инерционност. Освен това регулирането става чрез промяна на аеродинамичното съпротивление в разглеждания участък. Описана е динамиката на инерционен несвиваем въздушен поток чрез система от диференциални и алгебрични уравнения.

В повечето случаи представените математически модели на движение на въздуха се описват с нелинейни уравнения, за които трудно може да се намери пълно аналитично решение [2].

При отчитане на спецификата на импулсното регулиране е целесъобразно използването на двуконтурна заместваща схема на вентилационен участък. Разглежда се сравнително прост приблизителен метод за получаване на честотните характеристики на вентилационна верига,

които са необходими за изследване на импулсно управление.

Постановка на задачата

Нека вентилационна верига има дължина ℓ и постоянно напречно сечение s . Приема се, че е изпълнено условието $\ell \ll cT$, където c е скоростта на звука, а T е периода на очакваните импулси на напора P на вентилатора. Това допускане позволява системата да се приеме със съсредоточени параметри, т.е. процесите да се разглеждат само като функции на времето, но не и на дължината ℓ по линейната координата x . При импулсно управление функцията $P = P(t)$ има специфичен характер. Тя представлява постоянно изменяща се функция, чиито стойности се колебаят около една средна стойност. Нека напора на вентилатора P се представи като сума от една постоянна съставна, обусловена от постоянния напор на вентилатора, създаващ $P_{cp} = const$ и една синусоидална съставна, получена от колебанията на налягането, $\Delta P \sin \Omega t$.

$$P = P_{cp} + \Delta P \sin \Omega t \quad (1)$$

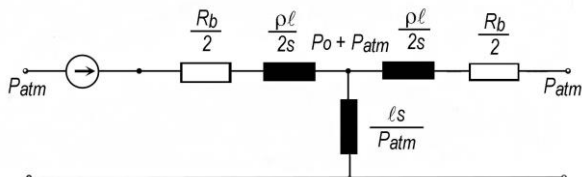
където: P_{cp} - средна стойност на налягането създадено от вентилатора, Pa

ΔP - амплитудата на преобладаващия първи хармоник на изменящото се налягане, Pa

$$\Omega = \frac{2\pi}{T} - \text{кръгова честота на колебанията, rad/s}$$

Задачата се разглежда при $\Delta P \ll P_{cp}$.

В такъв случай вентилационната верига може да се представи със следната заместваща схема (фиг. 1).

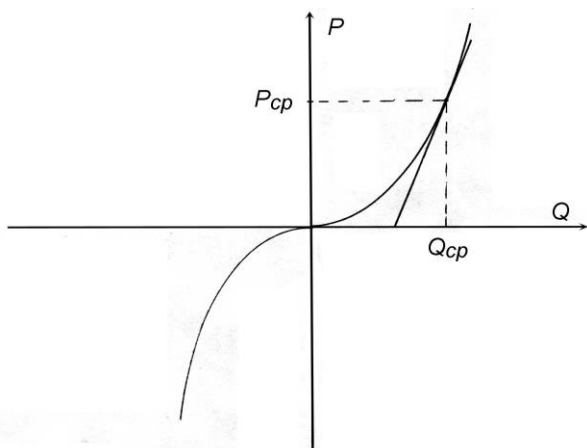


Фиг. 1.

Тъй като по условие $\Delta P \ll P_{cp}$ стойността на R_b се определя от отношението на средните стойности на налягането и обемния поток.

$$R_b = \frac{P_{cp}}{Q_{cp}}, \quad (2)$$

а статичното отношение на налягането и обемния поток R_{cm} се определя от допирателната към вентилационната характеристика при статичен режим (фиг. 2).



Фиг.-2.

$$R_{cm} = \frac{dP}{dQ} \quad (3)$$

От друга страна :

$$R_b = \frac{R_{cm}}{2} = R_{airdin} |Q_{cp}|, \frac{kg}{m^4 s} \quad (4)$$

Където: Q_{cp} е постоянното въздушно количество, обусловено от P_{cp} при статичен режим и изчислено от нелинейния постоянен режим при $P = P_{cp} = const$.

R_{airdin} е аеродинамично съпротивление на въздушния поток, $\frac{kg}{m^7}$

При уравнение на вентилационната характеристика:

$$P = R_{airdin} |Q| \cdot Q \text{ за } Q > 0 \quad P = R_{airdin} \cdot Q^2$$

За заместващата схема от фиг. 1 се съставят следните уравнения:

$$Q_1 = \frac{s \ell}{P_{atm}} \frac{dP_o}{dt} + Q_2 \quad (5)$$

$$P_o = \frac{R_b}{2} \cdot Q_2 + \frac{\ell \rho}{2s} \cdot \frac{dQ_2}{dt} \quad (6)$$

$$P = \frac{R_b}{2} \cdot Q_1 + \frac{\ell \rho}{2s} \cdot \frac{dQ_1}{dt} + P_o \quad (7)$$

Където: P_o е налягане в средата на вентилационната верига, Pa

R_b е отношението на средните стойности на налягането и обемния поток, на цялата вентилационна верига, $\frac{kg}{m^4 s}$

ρ е специфичната маса на въздуха, $\frac{kg}{m^3}$. С

малка грешка може да се приеме, че стойността ѝ остава постоянна и равна на плътността при нормални условия.

Q_1 и Q_2 - са въздушните количества на входа и на изхода на вентилационната верига, $\frac{m^3}{s}$.

При динамичен режим те се различават съгласно уравнение (2).

P е налягането на входа на вентилационната верига, създавано от управлявания вентилатор, което се разглежда като известна функция на времето, съгласно уравнение (1).

Така написаната система диференциални уравнения е нелинейна, защото вентилационните съпротивления са нелинейни.

Поради специфичния характер на функцията $P = P(t)$ (1), системата уравнения може да се линеаризира с цената на допустима грешка. За сметка на грешката се получават обозрими резултати при решението.

Решение

При така направените допускания системата уравнения, които описват синусоидалния режим с малки амплитуди е линейна и има вида:

$$\Delta Q_1 = \frac{s\ell}{P_{atm}} \frac{d\Delta P_o}{dt} + \Delta Q_2 \quad (8)$$

$$\Delta P_o = \frac{R_{cm}}{2} \cdot \Delta Q_2 + \frac{\ell\rho}{2s} \cdot \frac{d\Delta Q_2}{dt} \quad (9)$$

$$\Delta P \sin \Omega t = \frac{R_{cm}}{2} \cdot \Delta Q_1 + \frac{\ell\rho}{2s} \cdot \frac{d\Delta Q_1}{dt} + \Delta P_o \quad (10)$$

$$\Delta Q_{1max} = \Delta P \left\{ \frac{(2p_{atm} - \Omega^2 \ell^2 \rho)^2 + \Omega^2 R_{cm}^2 \ell^2 s^2}{\left(R_{cm}^2 + \Omega^2 \frac{\ell^2 \rho^2}{s^2} \right) \left[(2p_{atm} - \Omega^2 \ell^2 \rho)^2 + \Omega^2 R_{cm}^2 \ell^2 s^2 \right]} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

Във вентилационната верига може да възникнат резонансни явления, при които се наблюдават резки изменения на $\Delta Q_1(t)$, когато разликите, поставени в скоби в числителя и знаменателя се изменят около нулата. Поради това честотата на регулиране трябва да отговаря

на условието: $\Omega^2 \ll \frac{2P_{atm}}{\rho\ell^2}$

Пример

За $\ell = 100 \text{ m}$, $P_{atm} = 10^5 \frac{N}{m^2}$,

$$\rho = 1 \frac{kg}{m^3}$$

$$\Omega \ll 4,5 \frac{rad}{s}$$

Тъй като се търси само установения синусоидален режим може да се използва символичният метод за решаване на линейната система диференциални уравнения. Така се получават (11),(12) и (13):

$$\Delta \dot{Q}_1 = j\Omega \ell s \Delta P_o \frac{1}{P_{atm}} + \Delta \dot{Q}_2 \quad (11)$$

$$\Delta \dot{P}_o = \frac{R_{cm}}{2} \cdot \Delta \dot{Q}_2 + j\Omega \frac{\ell\rho}{2s} \cdot \Delta \dot{Q}_2 \quad (12)$$

$$\frac{\Delta P}{\sqrt{2}} = \frac{R_{cm}}{2} \cdot \Delta \dot{Q}_1 + j\Omega \frac{\ell\rho}{2s} \cdot \Delta \dot{Q}_1 + \Delta \dot{P}_o \quad (13)$$

Системата се решава спрямо $\Delta \dot{Q}_1$ и след обратното преобразуване се получава:

$$\Delta Q_1(t) = \Delta Q_{1max} \sin(\Omega t + \theta) \quad (14)$$

Където: ъгълът θ е сложна функция на параметрите, която обаче не представлява практически интерес. Амплитудата ΔQ_{1max} се определя от израза(15):

Този резултат показва, че периодът на регулиращите импулси може да бъде примерно $T = 10, s$ т.е. $\Omega = 0,6283, \frac{rad}{s}$ което е напълно реализуемо от гледна точка на управлението.

От този резултат следва, че импулсното регулиране е подходящо за вентилационни вериги с малка дължина, например вентилация на тунели, подземни камери със самостоятелно проветряване и изход на атмосфера, като подземни взривни складове. Защото при реални дължини на цялостна руднична вентилационна мрежа, резонансната честота има много малки стойности, която рязко намалява възможностите за регулиране налягането на вентилатора.

Заклучение

В статията е показана възможност да се опишат приблизително динамични явления във вентилационна верига при наличие на малки смущаващи въздействия, като се използва система от линейни уравнения. Изведена е формула за определяне на резонансните честоти на вентилационна верига и е предложена възможност за намиране на честотните ѝ характеристики.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Електротехника", МЕМФ

Литература

- Цой С. 1975, *Автоматическое управление вентиляционными системами шахт*. Алма-Ата, "Наука" КазССР, 1975. стр.170, 181.
- Стефанов Т. 1991, *Руднична аерология*. С. "Техника" 1991. стр. 130, стр. 238
- Димов Д., В. Ковачев. 1986, *Руднични стационарни уредби*. С. "Техника" 1986. стр.16 стр. 106

ДИСТАНЦИОННО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ЕНЕРГИЯТА НА ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИТЕ ЗАРЯДИ

Андрей Козаров¹, Юлиан Заимов²

¹ Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, София 1700, България

² Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, Лаборатория „Екстехника“, София 1700, България

РЕЗЮМЕ. В работата се изследват някои параметри на електромагнитното излъчване, породено от електрически разряди по повърхността на наелектризираните диелектрици. Предложена е схема за експериментално изследване и са дадени предварителни опитни резултати, които показват, че опасността от възпламеняване на потенциално експлозивна атмосфера може да се прецени достатъчно точно чрез анализ на електромагнитното излъчване.

REMOTE CONTROL OF THE ENERGY OF ELECTROSTATIC CHARGES

Andrey Kozarev¹, Julian Zaimov²

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

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

ABSTRACT. The paper discusses some of the parameters of the electromagnetic radiation, caused by the electrical charges on the surface of statically electrified dielectrics. A scheme has been proposed and preliminary trial results have been presented in order to reveal that the hazard of ignition of the potentially explosive atmosphere may be assessed precisely enough by analysis of the electromagnetic radiation.

Технологичните процеси в съвременните производства често са свързани с наличието на емисии от горими газове, пари, прахове и облаци, които с въздуха могат да образуват потенциално експлозивна атмосфера. В такива случаи, още при проектирането трябва да се прилагат необходимите мерки за недопускане или свеждане до минимум на възможните емисии, както в нормален, така и в аварийен режим на работа.

Това обаче не винаги е възможно. Често при различни дейности, като транспортиране, преливане, преработване, разбъркване, пълнене на резервоари и др. Се използват вещества и материали, които в смес с въздуха горят и се взривяват.

С оглед недопускането на пожари и експлозии, у нас се прилагат изискванията на хармонизираните европейски директиви за безопасна експлоатация на съоръженията и запазване живота на хората и животните.

Тези изисквания се свеждат основно до:

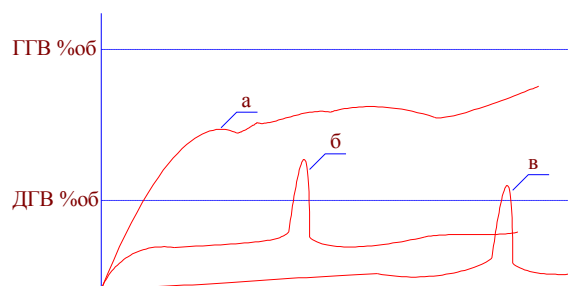
1. Анализ на околната атмосфера по отношение на концентрацията и продължителността на съществуване на горимите газове, пари, прахове и облаци в смес с въздуха.

2. Наличие или възможна поява на източници за възпламеняване на горимите смеси.

3. Избор на подходящи съоръжения, блокировки, наблюдения и контрол за предотвратяване на аварии.

При анализа на околната атмосфера се има предвид, че всички горими газове, пари на горими течности и прахове в смес с въздуха, при концентрация между долната (ДГВ) и горна (ГГВ) граници на взривяемост, образуват потенциално експлозивна атмосфера. Обемът, в който съществуват, се нарича взривоопасна зона.

В зависимост от продължителността на съществуване на потенциално експлозивната атмосфера, взривоопасните зони в закрити помещения или на открито, по отношение на горимите газове, пари и облаци, са класифицирани както следва:



Фиг. 1. Класификация на зоните

Зона 0 - потенциално експлозивната атмосфера съществува продължително време (фиг. 1-а);

Зона 1 - потенциално експлозивна атмосфера може да има много рядко и за кратко време (фиг. 1-б);

Зона 2 - потенциално експлозивна атмосфера може да се създаде извънредно рядко за кратко време (фиг. 1-в).

Тази класификация е направена за стойности на ДГВ и ГГВ, определени при нормални атмосферни условия. Реално стойностите за ДГВ и ГГВ могат да бъдат различни за всеки конкретен случай и те се лимитират основно от:

- концентрацията на кислород;
- наличие на други окислителни;
- наличие на инертни вещества;
- налягане;
- температура;
- движение на сместа;
- директно разпространение на пламък.

При класификация на зоните, описаните параметри трябва да се вземат под внимание.

Източниците за възпламеняване на потенциално експлозивни смеси в различните зони имат вероятностен характер, тъй като те могат да се появят както при нормална работа на съоръженията, така и при повреди и най-общо могат да бъдат сведени до следните:

- открит пламък;
- електрически разряди;
- искри от удар, триене (фрикционни искри);
- нагрятите повърхности;
- разряди от статично електричество.

Описаните по-горе възможни източници на възпламеняване, могат да се разсеят в потенциално експлозивната атмосфера енергии, многократно по-големи от необходимите за възпламеняване.

В зависимост от енергията на възпламеняване, взривоопасните смеси от газове и пари са разпределени в групи на взриваемост. На базата на съществуващата корелация между максималната безопасна експериментална хлабина (МБЕХ) и минималния възпламеняващ ток (МВТ), минималната енергия на възпламеняване е определена както следва:

Група на взриваемост	Минимална енергия на възпламеняване - μJ	
I	300	
II	II A	200
	II B	100
	II C	20

Праховъздушните смеси като правило изискват по-високи енергии на възпламеняване и основно зависят от гранулометричния състав и температурата.

Стойностите на тези енергии в зависимост от гранулометричния състав, съответно са:

Гранулометричен състав - μs	Минимална енергия на взриваемост - μs
до 200	10
200 – 350	250
350 – 700	500
700 - 1600	5000

На основата на описаните свойства на потенциално експлозивната атмосфера от газове, пари и прахове, може да бъде направен подходящ избор на начините, съоръженията и контрола за предотвратяване на аварии. Най-често това се постига чрез отделяне на съоръженията от потенциално експлозивната атмосфера с взриво-непроницаеми обвивки, които не допускат наличието на взривоопасна смес в тях. Използват се и методи за ограничаване на температурата на съоръженията, както и ограничаване на енергията на възможните електрически разряди, чрез прилагане на собствена защита.

Феноменът статично електричество, известен от древни времена, не се поддава на този вид взривоопасна защита и в редица технологични процеси, съоръжения, обработвани материали и др., може да се натрупват потенциали, които при разряд възпламеняват взривоопасните смеси. Разряди от статично електричество са предизвиквали у нас експлозии с материални щети и човешки жертви, като например в мебелната промишленост при нанасяне на бои и лакове и др. Установено е, че те са причина и за експлозии в резервоари за течни горива, както и за някои катастрофи на танкери.

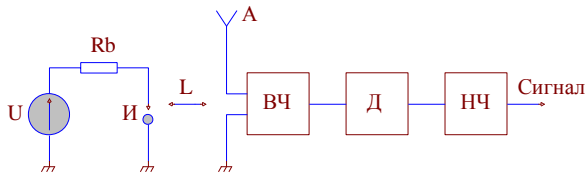
Най-често електростатичните заряди се натрупват върху диелектрици, вследствие на триене, индукция или утечки. В условията на потенциално експлозивна атмосфера основните защитни мероприятия се свеждат до заземяване на машините и съоръженията, намаляване времето на релаксация на потенциалите, ограничаване на възможните контакти между диелектрични повърхности и други материали, с цел намаляване степента на електризация. Прилагат се и други методи с цел увеличаване енергията на възпламеняване на потенциално експлозивната атмосфера чрез въвеждане на инертни вещества. Ефективността на всички тези защитни мероприятия може съществено да се загуби при малки промени на конкретните условия, като се има предвид, че възпламеняването е вероятностен процес.

Безопасността на работа при описаните по-горе условия, може да се подобри, ако се осъществи непрекъснат контрол на степента на електризация на всички места във зоната на потенциално експлозивната атмосфера. Известни са методи, които по принцип позволяват да се определи големината на енергията при електростатичен разряд. Недостатък в условията на експлоатация е това, че не може да се прогнозира опасната област в работното пространство и да се контролира непрекъснато.

В настоящата статия се предлага начин за определяне на вероятността от възникване на електростатичен разряд с опасна енергия, в цялата защитавана зона, независимо от настъпилите евентуални промени. Тази възможност се основава на факта, че в реални условия всеки повърхностен заряд, възникнал върху диелектрик, представлява източник на електромагнитно излъчване. Това се дължи на обстоятелството, че повърхностния заряд не остава неподвижен, а се разпространява по повърхността от зони с по-висок потенциал към тези с по-нисък потенциал. Тъй като повърхността на реалния диелектрик не е еднородна (граповости, замърсявания и др.), разпространяването на заряда става скокообразно,

т.е. непрекъснато се осъществяват последователни микропробиви. Така възникват ускорения при движението на заряда, което поражда електромагнитно излъчване.

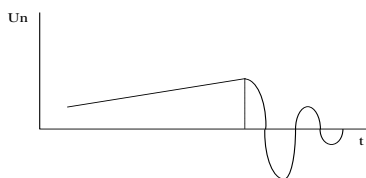
За проверка на тази идея са направени експерименти с опитната постановка, показана на фиг. 2.



Фиг. 2. Схема за изследване на разряди, генерирани от искрище

В нея е използвано искрище (И), съставено от два електрода с различна форма (острие – острие, сфера – сфера, острие- сфера). То се захранва от източник за високо напрежение (U) чрез високоомен резистор (R_{δ}). На разстояние L от искрището, определено от защитаваната зона е разположена антена. Приетият от нея сигнал се усилва във високочестотния (ВЧ), който след дедекция се усилва от нискочестотен усилвател (НЧ).

Ако се пренебрегнат вероятностните процеси и искрището действа като идеален ключ, който се затваря при достигане на едно и също пробивно напрежение (U_{np}), аналитичното изследване е елементарно. Изменението на сигнала е периодично и графиката за един период е показана на фиг.3.



Фиг. 3 . Характеристика на сигнала

Напрежението $U_{n1}(t)$ нараства по закона

$$U_{n1}(t) = U \left(1 - e^{-\frac{t}{R_{\delta} \cdot C_n}} \right),$$

а периодът по

$$T = -R_{\delta} \cdot C_n \ln \left(1 - \frac{U_{np}}{U} \right)$$

където:

U_{n1} е напрежение на искрището в процеса на нарастване, през интервал от време, когато няма пробив;
 C_n - капацитет на искрището, измерен между електродите

След настъпване на пробив между електродите на искрището, напрежението $U_{n2}(t)$ се изменя по псевдопериодичен закон

$$U_{n2}(t) = U_{np} \cdot e^{-\frac{t}{T_{np}}} \cdot \cos \Omega t$$

където:

T_{np} е времеконстанта, обусловена от еквивалентата индуктивност L_e на контура, затворен през дъгата и от загубите

Ω – определя се от L_e и C_n чрез релацията:

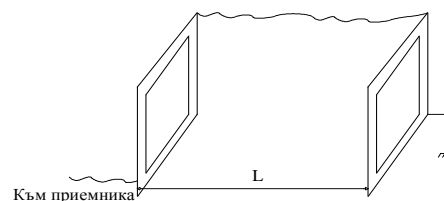
$$\Omega = \frac{1}{\sqrt{L_e \cdot C_n}}$$

Ако процесът се развива по описания идеализиран начин, спектърът на сигнала, получен на изхода на ВЧ, трябва да съдържа силно изразена съставка с честота Ω , а спектърът на сигнала на изхода на НЧ трябва да съдържа силно изразена съставка с период T.

В действителност проведените предварителни изследвания показват, че амплитудно честотната характеристика на сигнала на изхода на ВЧ остава почти постоянна в честотния диапазон от 500 nHz до 10 MHz. На изхода на НЧ се получава сигнал с характеристики, близки до очакваните в идеализирания случай.

Обяснението е, че основната част от електромагнитното излъчване се осъществява по време на развитието на всеки пробив. Известно е, че този процес има вероятностен характер и се характеризира с електромагнитно излъчване в широк честотен диапазон.

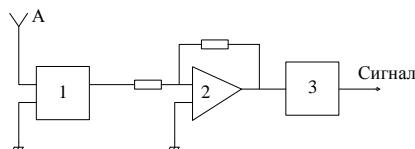
Поради горните причини, търсенето на сигурна връзка между честотите на излъчвания сигнал и енергията на разрядите, изисква сложна измервателна апаратура и прилагането на многофакторен математически анализ. От друга страна, връзката между амплитудата на електромагнитния сигнал на изходите на ВЧ и НЧ и енергията на възникващите разряди е добре изразена, макар и да липсва права пропорционалност. Тук основна причина за възникване на евентуални грешки е наличието на външни смущения, т.е. сигнали, които достигат до приемната антена извън защитаваната зона. Една възможност за значително намаляване на тяхното влияние и поява на възможни грешки е използването на две рамкови антени, свързани диференциално, съгласно фиг. 4.



Фиг. 4. Рамкови антени за затихване на външни сигнали

Посоката на навивките на двете еднакви рамки е такава, че сигналът, получен от източника между тях да се сумира, а сигналите от външните източници се изваждат и затихват съществено. Този резултат е ефективен когато $\lambda \gg L$, където λ е дължината на вълната на приемания сигнал. За установените честоти на λ , L е по-голяма от 30 м, което показва, че предлаганата схема е приложима за защита на сравнително големи пространства.

На фиг.5 е показана принципна схема на автоматично защитно устройство (АЗУ).



Фиг. 5. Автоматично защитно устройство (АЗУ)

Блок 1 представлява съгласуващ четириполюсник, блок 2 е операционен усилвател с висока горна граница на честотата (например 100 MHz) и блок 3 е върхов детектор.

Показаното АЗУ работи на базата на приетия сигнал и прагът на сигнала за сработване се определя експериментално за всеки конкретен случай. Изходите на устройството могат да задействат сигнални устройства, блокировки и технологични съоръжения.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Електротехника", МЕМФ

Заклучение

От описаното по-горе става ясно, че прагът на сработване на АЗУ и подаване на изходни сигнали зависи от енергията на електростатичните разряди. За всеки конкретен технологичен процес АЗУ трябва да се калибрира, като се приемат електромагнитни излъчвания от разряди с предварително измерена енергия. Те се сравняват с енергиите на възпламеняване за съответните групи на взривяемост, към които се отнасят горимите вещества.

Литература

- Георгиев Б., и др., 1986. Техника на високите напрежения – София, Техника.
- Кравченко В., и др., 1976. Взривобезопасность электрических разрядов и фрикционных искр – Москва, Недра.
- Ландау Д., Лифшиц Е., 1969. Краткий курс теоретической физики – Москва, Наука.
- Наредба за съществените изисквания и оценяване съответствието на съоръженията и системите за защита, предназначени за експлоатация в потенциално експлозивна атмосфера – ПМС № 205 от 12.09.2001 г.
- EN БДС 60079-10 Класификация на взривоопасните зони Bond J., 1991. Sources of ignition – Butter Wortd - Heinemann

НЯКОИ ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА АНАЛИТИЧНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТРИМЕРНИ ПОТЕНЦИАЛНИ ПОЛЕТА

Андрей Козаров, Снежана Стоянова

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, София 1700
 Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, София 1700; E-mail: stoyanova_8000@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Изведени са изразите за потенциалните функции на пространствени електрични полета. Предимство на метода е възможността за аналитично изследване на интензитета на конкретно реално електрично поле.
Ключови думи: потенциални функции, електрическа интензивност, идентични потенциални повърхности

SOME POSSIBILITIES FOR ANALYTICAL STUDYING OF 3-D POTENTIAL FIELDS

Andrey Kozarov, Snejana Stoyanova

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700, Bulgaria
 University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700, Bulgaria; E-mail: stoyanova_8000@abv.bg

ABSTRACT. Expressions of potential functions for spacail electric fields are found. The priority of the method is the possibility for an analytic investigation of the intensity for a concrete real electric field.
Key words: potential functions, electric intensity, potential identical surfaces.

Известно е [1], че методът на комплексната променлива дава възможност да се получат неограничен брой аналитични изрази, определящи потенциала на плоскопаралелни полета. Аналогичен подход може да се използва и за анализ на тримерни потенциални полета въз основа на следните разсъждения.

Разглежда се комплексната аналитична функция

$$\pi = \pi(x, y, z) = R_e(\pi) + j I_m(\pi),$$

където $R_e(\pi) = U_R(x, y, z)$ и $I_m(\pi) = U_I(x, y, z)$ са реални

функции на координатите. Нека функцията $\pi(x, y, z)$ зависи от координатите по следния начин:

$$\pi = \pi(W), \text{ където } W = \alpha x + \beta y + \gamma z$$

В такъв случай, за да бъде изпълнено условието на

Лаплас $\Delta \pi = 0$, е достатъчно да е в сила равенството:

$$\frac{\partial^2 \pi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \pi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \pi}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 \pi}{\partial W^2} \cdot \alpha^2 +$$

$$\frac{\partial^2 \pi}{\partial W^2} \beta^2 + \frac{\partial^2 \pi}{\partial W^2} \gamma^2 = 0$$

Следователно, за да удовлетворява функцията π условието на Лаплас, е достатъчно да е в сила равенството:

$$(1) \quad \alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2 = 0$$

Лесно се установява, че ако функцията π удовлетворява уравнението на Лаплас, то и реалната и имагинерната ѝ части задължително трябва да удовлетворяват това уравнение. От тук се установява, че функциите $U_R(x, y, z)$ и $U_I(x, y, z)$ са потенциални.

Вижда се, че съществува възможност да се получават неограничен брой потенциални функции, някои от които може да имат практическо приложение. Интерес представляват функциите от вида:

$$U(x, y, z) = U_1(W_1) + U_2(W_2), \text{ където:}$$

$$W_1 = \alpha_1 x + \beta_1 y + \gamma_1 z \text{ и } W_2 = \alpha_2 x + \beta_2 y + \gamma_2 z;$$

$$\frac{W_1}{W_2} \neq const$$

и съответните коефициенти отговарят на условието (1).

С помощта на съвременната изчислителна техника лесно може да се анализират голям брой тримерни потенциални функции и да се архивират тези, които може

да имат отношение към решаването на конкретни задачи, например в електростатиката.

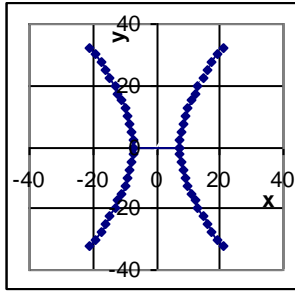
Вижда се, че методът на конформното изображение, прилаган при плоскопаралелни полета представлява частен случай, определен от условието:

$$\alpha = 1, \beta = j, \gamma = 0; \alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2 = 0.$$

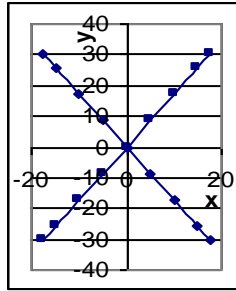
Пример 1:

$$U = R_e \left\{ \pi_1 + \pi_2 \right\} = R_e \left\{ W_1 \left\{ +k W_2^2 \right\} ; \right\}$$

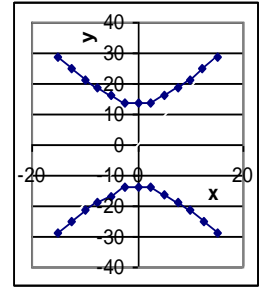
$\alpha_1 = 1, \beta_1 = j, \gamma_1 = 0; \alpha_2 = 1, \beta_2 = 0, \gamma_2 = j$. От тук се получава



C=+27



C=0



C=-27

Фиг.1. Пресечници на три еквипотенциални повърхнини с равнината $z=0$ и $k=2$

Пример 2:

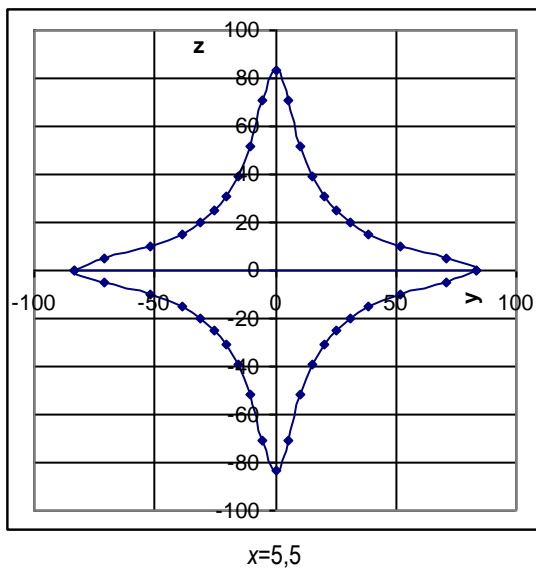
$$U(x,y,z) = R_e \left\{ \frac{1}{W_1} + \frac{1}{W_2} \right\}$$

$\alpha_1 = 1, \beta_1 = j, \gamma_1 = 0; \alpha_2 = 1, \beta_2 = 0, \gamma_2 = j$

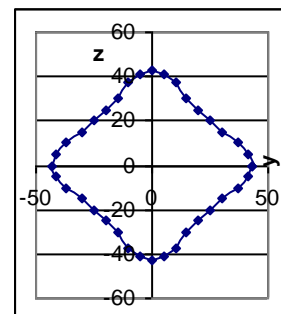
Получава се:

$$U(x,y,z) = \frac{x}{x^2 + y^2} + \frac{x}{x^2 + z^2}$$

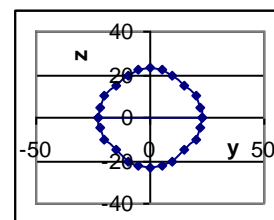
Фигура 2 дава представа за еквипотенциалната повърхност $U(x,y,z)=0,2$. Показани са кривите при пресичане на тази повърхност с равнините $x=9, x=7$ и $x=5,5$.



x=5,5



x=7



x=9

Фиг.2. Криви на пресичане на еквипотенциалната повърхност $U(x,y,z)=0,2$ с равнините $x=9, x=7$ и $x=5,5$

(2) $U = x^2(1+k) - y^2 - kz^2; k = \text{const}$

Еквипотенциални повърхнини се получават от условието $U = C = \text{const}$.

На фиг.1 са показани пресечниците на три еквипотенциални повърхнини при $C > 0, C = 0, C < 0$ с равнината $z=0$. Навсякъде е прието $k=2$. Пресечните линии на еквипотенциалните повърхнини с равнината $y=0$ са аналогични, а с равнината $|x| = C \neq 0$ представляват елипси.

Интерес представлява аналитичното определяне на електрическия интензитет в една характерна точка-върхът на изпъкналостта с координати: $x=10$, $y=0$, $z=0$.

$$\vec{E} = \frac{\partial u}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial u}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial u}{\partial z} \vec{k} = k_U \cdot \frac{2}{x^2} \vec{i}$$

Тук коефициентът k_U се определя от стойността на потенциала на разглежданата екипотенциална повърхност, изразен във волтове и приетата единица за измерване на координатите. При стойност на потенциала $U=100 \text{ kV}$ и единица за измерване на координатите [см], $k_U=500 \text{ kV/cm}$. Тогава $E=E_x=10 \text{ kV/cm}$.

Интересно е да се отбележи, че ако околността на върхната точка, например с радиус 3 см се апроксимира със сфера, заредена до същия потенциал $U=100000 \text{ V}$, за чиито радиус се получава $R=5 \text{ см}$, интензитетът се получава $E_{сф.}=20 \text{ kV/cm}$.

Значението на предложението подход е твърде ограничено. Причината е обстоятелството, че получаваните тримерни потенциални функции за цялото пространство не отговарят на полета, създадени от реални електроди.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Електротехника", МЕМФ

Ползата все пак е във възможността да се определят аналитично и сравнително лесно потенциални тримерни функции, които да са твърде близки до реални полета в отделни области от пространството. При наличието на изчислителни устройства с много голяма памет е възможно да се създаде база данни за много голям брой такива аналитични функции, измежду които компютърът да намира най-подходящия аналитичен израз за зададена част от екипотенциална повърхност.

Предимство на аналитичното изразяване на потенциалното поле, дори и за ограничена област от пространството, е възможността да се определи аналитично и полето на електрическия интензитет чрез израза:

$$\vec{E} = -gradU$$

Литература:

Нейман, Л.Р. и К.С. Демирчан. Теоретические основы электротехники т. II.

ОПРЕДЕЛЯНЕ РАЗПРЕДЕЛЕНИЕТО НА ПОТЕНЦИАЛА ВЪРХУ ИЗОЛАТОРНИ ВЕРИГИ

Евтим Кърцелин

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

РЕЗЮМЕ. За определяне разпределението на потенциала върху изолаторните вериги е получен аналитичен израз с използване математическия апарат на уравненията в крайни разлики, с което се показват приложимостта и предимствата на този метод в сравнение с използваните класически методи за решаване на същата задача.

Ключови думи: изолаторни вериги, електропроводи, разпределение на потенциал, уравнения в крайни разлики.

DETERMINING THE DISTRIBUTION OF POTENTIAL OVER INSULATING CIRCUITS

Evtim Kartcelin

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

ABSTRACT. An analytical expression for determining power factor of tiristor electric drive of mine winder has been obtained considering the specific working regim. That gives the opportunity of making precise estimation of energetical parameters of electric drive and precise calculation of the parameters of compensating devices.

Key words: power factor, tiristor electric drive, mine winder, velocity and load diagrams, energetic characteristics, compensating devices.

Въведение

В последните години възникнаха крупни аварии в енергийните системи на едни от най-технологично развитите държави в света – САЩ, Канада, Русия и др. [1, 5]. Материалните загуби от прекъсване на електроснабдяване само в САЩ се изчисляват на 50 милиарда долара. Възникването на такива крупни аварии в електроенергийните системи (ЕЕС) на тези държави е съпроводено не само с нарушаване жизнения комфорт и безопасност на милиони хора, но и застрашават националната сигурност и безопасност на страната като цяло.

Ето защо развилите се крупни аварии в ЕЕС на тези държави станаха причина за организиране и превеждане на задълбочен анализ на причините, поради които възникнаха аварийните ситуации, причините и проблемите, които не позволиха ограничаване развитието на анарииния процес и адекватно управление на ЕЕС.

За изпълнението на тези мащабни задачи правителствата на тези държави формираха съответни научно-изследователски колективи и осигуриха необходимите финансови средства за изпълнение на тези високоотговорни задачи.

Департаментът по енергетика в САЩ е в процес на съставяне на "пътна карта" и е завършен доклад "Мрежа

2030 – национална визия за електроенергетиката през следващите 100 години".

Методи за анализ на катастрофални аварии в ЕЕС и основни изводи [1]

За възникване и развитие на крупни аварии в ЕЕС е проведен анализ в съответните държави [1, 5]. В Русия работата включва последователното решаване на две основни задачи [1]:

1. Разработване и верификация на цифров модел на ЕЕС и на свързаните с нея други ЕЕС.
2. Изследване на различни режими на работа на ЕЕС с моделирането на различни сценарии на управление на ЕЕС.

Разработеният цифров модел включва 1535 присъединителни възела, 2335 отклонения, 84 генератора и 10 броя еквивалентни схеми на ЕЕС, свързани и паралелно работещи с изследваната ЕЕС.

Цифровият модел на ЕЕС за изчисляване на динамическата устойчивост и анализ на електромеханичните преходни процеси е разработен в средата на програмно-изчислителния комплекс "EUROSTAG" [2, 3].

Авторите на анализа представят следните основни изводи за причините, породили възникването на крупна авария в ЕЕС на страната:

1. Като цяло, действията на диспечерския състав са били адекватни на създадената аварийна ситуация.

2. От анализа за действията на диспечера в хода на развитието на аварийната ситуация по безпорен начин се доказва, че скоростта за развитие на аварията значително превишава възможностите на диспечерския състав, обслужващ ЕЕС да обработва информацията, която получава (преди всичко по телефон) и въз основа на нея да изпълнява точни оперативни превключвания за управление на ЕЕС.

3. Липсата на достоверни данни както по състава и характеристиката на товара, така и по сумарното ниво на включените към ЕЕС потребители, не позволява да се изпълни адекватно възстановяване на условията, при които възниква аварийната ситуация и нейното развитие в катастрофа.

Коректното моделиране на процесите в ЕЕС, които се определят преди всичко от поведението на товара в електрическите мрежи с напрежение 110 kV и по-ниско, е възможно само при наличието на посочените изходни данни.

4. Отсъствие на необходимата по обем и актуализирана по време информация за състоянието на енергийната система в момента на възникване на аварийната ситуация, което се явява необходимо условие за ефективно и адекватно управление на ЕЕС.

5. Отсъствието на възможност за изключване от Главния диспечер на ЕЕС на електропотребители в района на възникване на аварията, не осигурява условия за ефективно противоаварийно управление на ЕЕС. Тези обстоятелства "принуждава" Главният диспечер да предприеме палиативни решения, насочени към ликвидиране (прекратяване) развитието на аварийния процес.

6. Една от основните причини, която прави невъзможно да се идентифицира аварийната ситуация и да се използват управляващи въздействия за нейното ограничаване и изключване, се явява лошата **наблюдаемост** и лошата управляемост на енергийната система.

Необходимите и достатъчни условия за устойчивост, наблюдаемост и управляемост на една система за пръв път са представени в [6, 7, 9].

Едно от направленията за развитие на ЕЕС с цел осигуряването на зададено ниво на надеждност и качество на управление е свързано с разработване и развитие на математически модели и методи за решаване на задачите за управление режимите на работа и развитие на енергосистемите [2].

Показателят **бързодействие** се явява един от основните показатели на системи за управление на ЕЕС в реално време, който оказва основно влияние за запазване на устойчивостта и работното състояние на ЕЕС, включително и при възникването на аварийни ситуации от всякакъв характер.

Изискването за бързодействие към системите за управление на ЕЕС в реално време поставя задача за разработването на математически модели и на методи за изчисляване на необходими параметри на ЕЕС, които се

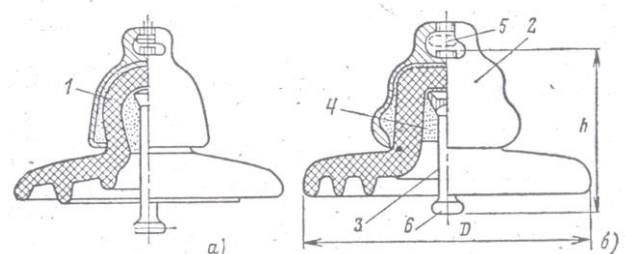
реализират с минимален обем изчислителни процедури при зададено ниво на точност на получавания резултат.

Електрическите системи с много елементи, към които се отнася и една ЕЕС, притежават голям брой степени на свобода. Използването на общите методи за тяхното аналитично описание и изследване води до сравнително дълги и сложни изчисления. Използването на някои специални математически методи води до значително съкращаване на изчислителния процес и опростяване на решенията, което е съществено предимство при управлението на сложни системи, в реално време, към които се отнасят и ЕЕС.

В доклада е показана възможността за определяне разпределението на потенциала върху една изолаторна верига чрез използване математическия апарат на уравненията в крайни разлики, с което се показват приложимостта и предимствата на този метод в сравнение с използваните класически методи за решаване на същата задача.

Математически модел за определяне разпределението на потенциала върху изолаторна верига за електропровод

На фиг. 1 е представена конструкцията на изолатор, който се явява основен елемент за изграждане на изолаторни вериги при строителството на въздушни електропроводи. На фиг. 1 са приети следните означения: **1** – изолатор с чиниеобразна форма; **2** – метална шапка от ковък чугун; **3** – стомавено стебло; **4** – висококачествен цимент; **5** – ухо в металната шапка; **6** – шапка на стебло.



Фиг. 1. Конструктивна схема на изолаторен елемент за въздушни електропроводи

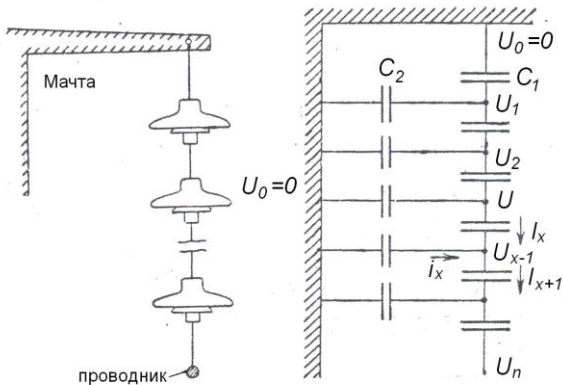
За извеждане на аналитичен израз (модел), който позволява да се определи разпределението на потенциала между елементите на една изолаторна верига, ще се разгледа заместващата електрическа схема на изолаторна верига, показана на фиг. 2.

Първият изолатор (елемент) на изолаторната верига е свързан към металната конзола на носещия стълб и следователно се явява заземен. Към последния изолаторен елемент е окачен проводника на електропровода, по който протича електрически ток с промишлена честота ω .

Разглежда се една от металните връзки, която свързва два елемента на изолаторната верига, разположени един до друг.

Скоростта на изменение заряда на тези метални връзки зависи от нейния капацитет спрямо всички други метални

връзки и земя. За опростяване извеждането на практически приложим аналитичен израз, ще се отчитат само два от всички възможни капацитети на една метална връзка: капацитета на металната връзка спрямо съседни метални връзки C_1 и капацитет на металната връзка спрямо земя C_2 .



Фиг. 2. Заместваща електрическа схема на изолаторна верига

Приема се, че металните връзки на всички изолаторни елементи са еднакви, от което следва, че капацитетът между всички метални връзки е еднакъв и има стойност C_1 .

Ако се означи потенциала на x -та метална връзка с U_x , то токът, който ще протече между $(x-1)$ -та и x -та метална връзка ще се определя със следния израз

$$I_x = i\omega C_1(U_{x-1} - U_x) \quad (1)$$

Токът между x -та и $(x-1)$ -та метална връзка ще се определи с израза

$$I_{x+1} = i\omega C_1(U_x - U_{x+1}) \quad (2)$$

Токът между x -тата метална връзка и земя ще се определя с израза

$$i_x = -i\omega C_2 U_x \quad (3)$$

Системата от капацитети, която съответства на разглежданата изолаторна верига е показана на фиг. 2, от която се записва следния израз:

$$I_{x+1} = I_x + i_x \quad (4)$$

След заместване на (1), (2) и (3) в (4) и след преобразуване се получава следния израз

$$C_1(U_{x+1} - U_x) - C_1(U_x - U_{x-1}) - C_2 U_x = 0 \quad (5)$$

или

$$U_{x-1} - \left(2 + \frac{C_2}{C_1}\right) U_x + U_{x+1} = 0 \quad (6)$$

Уравнение (6) представлява по същество уравнение в крайни разлики от втори ред. Замествайки в (6) израза

$U_x = e^{\lambda x}$ се получава следния израз:

$$e^{\lambda(x-1)} - \left(2 + \frac{C_2}{C_1}\right) e^{\lambda x} + e^{\lambda(x+1)} = 0 \quad (7)$$

разделяйки (7) на $e^{\lambda x}$ се получава

$$e^{-\lambda} - \left(2 + \frac{C_1}{C_2}\right) + e^{\lambda} = 0 \quad (8)$$

Като се използва израза за хиперболичния косинус, а именно

$$ch\lambda = \frac{e^{\lambda} + e^{-\lambda}}{2},$$

формула (8) се записва в следния вид:

$$ch\lambda = 1 + \frac{C_2}{2C_1} \quad (9)$$

Уравнение (9) има два корена: $\pm \lambda$, а общото решение на (9) се представя в следния вид:

$$U_x = A_1 e^{\lambda x} + A_2 e^{-\lambda x}$$

или

$$U_x = B_1 ch\lambda x + B_2 sh\lambda x \quad (10)$$

Гранични условия за разглежданата задача: $U_0 = 0$ и $U_n = U$, където U - потенциал на металната връзка.

За коефициентите B_1 и B_2 се получават следните стойности:

$$B_1 = 0 \text{ и } B_2 \cdot sh\lambda n = U.$$

За определяне разпределението на потенциала по дължината на изолаторната верига се получава следната формула

$$U_x = U \frac{sh\lambda x}{sh\lambda n} \quad (11)$$

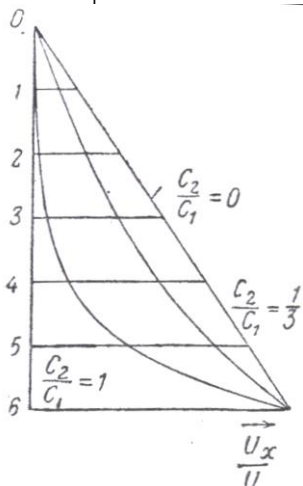
където λ се определя по израза (9).

Ако капацитетът C_2 спрямо земя е възможно да се пренебрегне в сравнение с капацитета C_1 между две

съседни метални връзки, то $\lambda \rightarrow 0$ и за U_x се получава израза

$$U_x = U \frac{x}{n} \quad (12)$$

Графическото представяне на (12) е показано на фиг. 3. В този случай пълния спад на потенциала е разпределен равномерно между изолаторите така, че върху всеки изолаторен елемент този спад е равен на $\frac{U}{n}$. Ако все пак отношението C_1/C_2 не е малко и λn е достатъчно голямо, то спада на потенциала върху всеки изолаторен елемент ще намалява толкова по-бързо, колкото повече се отдалечават от проводника. На фиг. 3 е представено отношението U_x/U за стойностите $C_2/C_1 = 0; 1/3$ и 1. От фиг. 3 следва, че изолаторите, които се намират по-близо до проводниците на електропровода са натоварени много повече в сравнение с изолаторите, които се намират по-близо до конзолата (мястото на окачване). От получения резултат следва, че след определена граница, увеличаването броя на изолаторните елементи не оказва съществено влияние.



Фиг. 3. Разпределение на потенциала между елементите на изолаторна верига

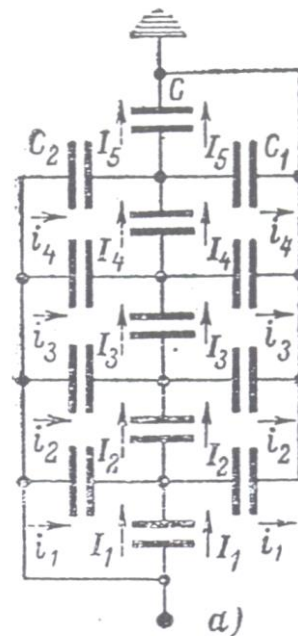
За изясняване на причината за неравномерното разпределение на напрежението по дължината на изолаторната верига се разглежда неговата заместваща електрическа схема, показана на фиг. 4, на която са приети следните означения: C – собствен капацитет на изолатора; C_1 – капацитет на изолатора спрямо земя (заземените елементи от конструкцията на стълба); C_2 – капацитет на изолатора спрямо проводника на електропровода.

За изолаторните вериги на електропровода тези капацитети имат следните стойности: $C = 50 \div 70 \text{ nF}$, $C_1 = 4 \div 5 \text{ nF}$, $C_2 = 0,5 \div 1 \text{ nF}$ [8,10].

Общият капацитет на изолаторна верига $C_{u.в}$ с n елемента се определя с израза

$$C_{u.в} = \frac{C}{n}$$

Ако стойността на $C_{u.в}$ съществено превишава стойността на капацитетите C_1 и C_2 , то разпределението на напрежението по дължината на изолаторната верига ще бъде практически равномерно.

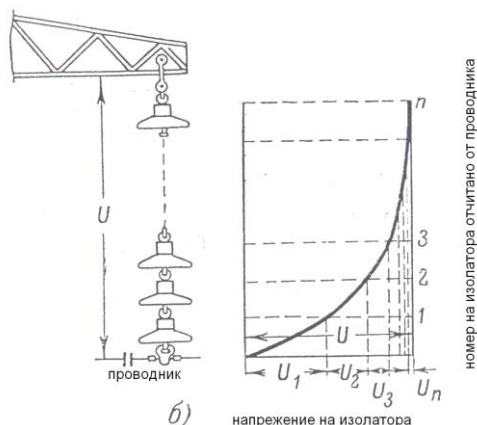


Фиг. 4. Заместваща капацитивна схема на изолаторна верига

Тъй като стойностите на $C_{u.в}$ и C_1 са от един порядък, а при дълги изолаторни вериги и с C_2 , то разпределението на напрежението по дължината на изолаторната верига е неравномерно. Ако $C_2 = 0$, а $C_1 \neq 0$, то най-голям пад на напрежение ще бъде върху първия изолаторен елемент до проводника, а с отдалечаване от проводника напрежението върху елементите на изолаторната верига ще намалява. В резултат на отклонение на токовете през капацитета C_1 , то най-голяма стойност на тока през собствения капацитет ще има изолаторен елемент до проводника. По тази причина при $C_1 = 0$ и $C_2 \neq 0$ се получава най-голям пад на напрежението.

В реални условия $C_1 > C_2$, поради което падът на напрежението е максимален на първия от проводника изолаторен елемент и се намалява с отдалечаването от проводника.

На фиг. 5 е представено разпределение на потенциала между елементите на изолаторна верига.



Фиг. 5. Разпределение на потенциала между елементите на изолаторна верига

Контрол изолационното състояние на въздушен електропровод

Методът за контрол на изолаторните вериги, основан на измерване разпределението на напрежението по дължината на изолаторната верига се явява достатъчно ефективен и не изисква изключване на електрически уредба. Същността на метода се състои в следното: Сравняване измереното напрежение на всеки елемент от изолаторната верига с нормалния пад на напрежение, измерен при отсъствие на дефекти в изолатора.

Резултатите от измервания при експлоатационни условия показват, че падът на напрежение на дефектен изолаторен елемент е от порядъка на 50% по-малък в сравнение при нормален режим (изправен изолаторен елемент).

Своевременното откриване на дефектни изолаторни елементи значително съкращава броя на аварийните изключвания на един електропровод.

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

Изводи

В съвременните ЕЕС има редица нерешени въпроси и проблеми, които се явяват причина за възникване и развитие на крупни аварии със значителни материални загуби, застрашаващи живота на много хора, включително националната сигурност и безопасност на страната.

Получен е аналитичен израз за определяне разпределението на потенциала върху една изолаторна верига, който може да се използва за "наблюдаване" изолационното състояние на въздушните електропроводи и формиране на управляващ сигнал при недопустимо понижаване на изолационното съпротивление.

Литература

1. Герасимов В.С. и др., 2008. Исследование режимов Московской энергосистемы в процессе развития аварии в мае 2005 г., *Электричество*, 1.
2. Баринов В.А. и др., 2005. Развитие математических моделей и методов для решения задач управления режимами работы и развития Энергосистем. *Электричество*, 7.
3. Meyer B., Stubbe M., 1992. EUROSTAG – A Single Tool for Power System Simulation. *Transmission & Distribution International*, Marsh.
4. Stubbe M., Bihain A., Deuse J., Baader J, February 1989. STAG – A New United Software Program for the Study of the Dynamic Behaviour of Electrical Power Systems. – *IEEE transaction on Power Systems*, vol 4, №1.
5. Игнатовски Д., 2003. Системна авария на 14 август 2003 г. в САЩ и Канада, *Енергетика*, № 6-7.
6. Воронов А.А., 1979. *Устойчивость, управляемость, наблюдаемость*, М., Наука.
7. Гамм А.З. и др., 1975. Наблюдаемость электроэнергетических систем. *Электричество*, № 1.
8. Базуткин В.В. и др., 1986. *Техника высоких напряжений: изоляция и перенапряжения в электрических системах*. М., Энергоатомиздат.
9. Бородакий Ю.В. и др., 2004. Основы теории систем управления. М., *Радио и связь*.
10. Юриков П.А., 1972. *Как работает электрическая изоляция*. М., Энергия.
11. Георгиев М.Б., 1989. *Техника на високите напрежения*. С., ВМЕИ.

ВЪЗМОЖНОСТ ЗА ИЗПОЛЗВАНЕ НА ТРАНСФОРМАТОР С МАГНИТЕН ШУНТ КАТО МАКСИМАЛНО ТОКОВА ЗАЩИТА

Тодор Върбев

Минно геоложки университет "Св.Ив. Рилски", 1700 София, E-mail vat@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Изследват се възможностите за ограничаване на тока на късо съединение на понижаващ трансформатор, снабден с подвижен магнитен шунт. Основно предимство на процеса е безконтактното бързо понижаване на напрежението, приложено на товара.

POSSIBILITIES FOR USING A MAGNETIC SHUNT TRANSFORMER AS MAXIMUM CURRENT PROTECTION

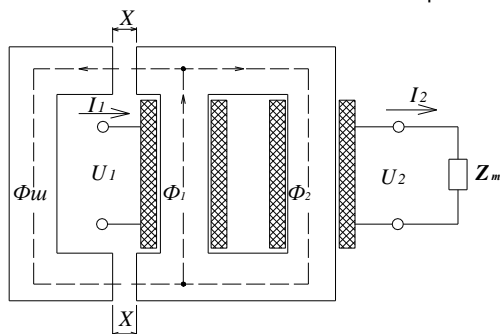
Todor Varbev

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, vat@mgu.bg

ABSTRACT. The possibilities for limiting the current of short circuit of a step-down transformer with movable magnetic shunt are investigated. The main advantage of the process is the non-contact lowering of the tension, applied to the load.

Въведение

Както е известно [1] трансформаторът с магнитен шунт се използва в някои случаи за безконтактно регулиране на напрежението. Възможно е с някои малки промени и допълнения в конструкцията той да изпълнява и функциите на допълнителна максималнотокова защита/МТЗ/. Принципната възможност за това е показана на фиг. 1.



фиг.1

В [2] е установено че големината на отклонения магнитен поток $\Phi_{ш}$ през магнитния шунт нараства с увеличаване на вторичния ток I_2 , който е и ток през товара. Тъй като силата с която основния магнитопровод привлича магнитния шунт е приблизително пропорционална на $\Phi_{ш}^2$ е възможно да се намерят конструктивни решения, при които за някаква стойност на работния ток $I_2 \geq I_{2 доп}$ да се осъществи привличане на шунта към основния магнитопровод, при което изходящото напрежение U_2 и изходящият ток I_2 рязко намаляват. Едно възможно решение е показано на фиг. 2.

Магнитният шунт се задържа в нормално положение от два постоянни магнети. Когато силата на привличане към

основния магнитопровод, обусловена от $\Phi_{ш}$ преодолее привличането на постоянните магнети шунтът се отделя от тях и практически без наличие на съпротивителна сила и с нарастващо ускорение се насочва към крайното си положение. При това крайно положение изходящото напрежение U_2 е близко до нула.

Аналитично изследване

За да се получи аналитично ампер-секундната характеристика на разглежданата максималнотокова защита се правят следните опростяващи предположения:

Пренебрегват се активните съпротивления на намотките, загубите в стоманата и потоците на разсейване, с изключение на потока $\Phi_{ш}$ през шунта;

Приема се, че след отделянето си от постоянните магнети магнитният шунт се движи без триене под действието само на електромагнитната сила, създадена от $\Phi_{ш}$;

Пренебрегват се магнитните съпротивления на феромагнитните участъци.

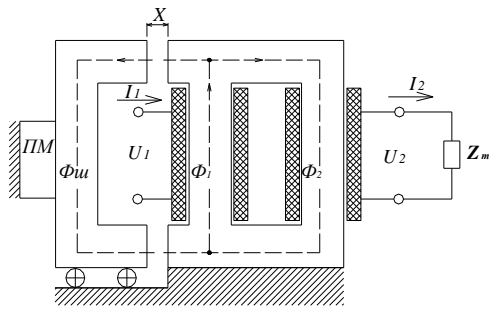
Нека първичното напрежение се изменя по закона,

$$U_1 = U_m \sin(\omega t + \theta)$$

Приема се, че в момента $t = 0$ към отворената вторична намотка се включва някакъв

$$\text{импеданс, } |Z_2| < |Z_2|_{дон} = \frac{U_2}{I_{2дон}}$$

Разглеждаме случая с чисто активен товар $Z_2 = R_2$.



фиг.2

При включване на чисто активен товар процесът се описва със следните уравнения:

$$U_1 = w_1 \frac{\partial \Phi_1}{\partial t};$$

$$\Phi_1 = \Phi_2 + \Phi_{ш};$$

$$w_2 \frac{\partial \Phi_2}{\partial t} = R_2 i_2;$$

$$w_1 i_1 = \Phi_{ш} \frac{2x}{\mu_0 S_u};$$

$$w_1 i_1 - w_2 i_2 = 0;$$

$$\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = -\frac{\Phi_{ш}^2}{M_{ш} S_u \mu_0}, \text{ за } x \leq x_{max}$$

или
$$\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = 0 \text{ за } F_{nm} > \frac{\Phi_{ш}^2}{S_u \mu_0}$$

Тук S_u е сечението на всеки от полюсите на шунта ,а $M_{ш}$ е масата му. F_{nm} е силата, с която постоянните магнити привличат шунта /2/,когато той е долепен до тях.

$$F_{nm} = \frac{w_1^2 I_{1n}^2 \mu_0 S_u}{2x_{max}^2}.$$

След изключване на функциите i_1, i_2, Φ_2 се стига до уравненията:

А.За интервала от 0 до Δt ,където Δt е моментът в който електромагнитната сила на привличане на шунта преодолява противодействието на постоянните магнити:

$$\frac{2R_2 x \Phi_{ш}}{w_2^2 \mu_0 S_u} + \frac{\partial \Phi_{ш}}{\partial t} = \frac{U_m}{w_1} \sin(\omega t + \theta),$$

с начални условие $\Phi_{ш}(0) = 0$

Б.За интервала $t > \Delta t$,

$$\frac{2R_2 x_{max} \Phi_{ш}}{w_2^2 \mu_0 S_u} + \frac{\partial \Phi_{ш}}{\partial t} = \frac{U_m}{w_1} \sin(\omega t + \theta),$$

$$\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = -\frac{\Phi_{ш}^2}{M_{ш} S_u \mu_0},$$

с начални условия:

$$\Phi_{ш}(\Delta t) = \sqrt{F_{nm} S_u \mu_0}; \quad x(\Delta t) = x_{max};$$

$$\left(\frac{\partial x}{\partial t} \right)_{t=\Delta t} = 0$$

Системата е нелинейна и е най-удобно да се търсят числени решения за конкретни образци.Тук е подходящ методът на последователните интервали,който да се приложи и за интервала от т.А.

Характерните за образца константи се заместват в числен вид ,а на началната фаза θ се дават различни стойности например през 10° . За всяка конкретна стойност на параметрите ,включително и за различните стойности на R_2 /но без θ /се определят максималната и минималната стойност на времето за задействане на защитата,за което $x = 0$ в зависимост от θ .Така могат да се построят зависимостите на, t_{zmin} и t_{zmax} във функция от R_2 или от I_2 .

Тази нелинейна система е решена с помощта на програмния продукт Математика 4.2 за конкретен образец със следните технически данни:

U_1 -номинално напрежение на първичната намотка-380 V;

U_2 -номинално напрежение на вторичната намотка- 42 V;

W_1 -брой навивки в първичната намотка-660;

W_2 -брой навивки във вторичната намотка-80;

$S_{ш}$ -сечение на шунта- 2.10^{-3} m^2 ;

$M_{ш}$ -маса на шунта-3,36 кг.;

$\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ -магнитна проникваемост на вакуум;

R_2 -товар на вторичната намотка, Ω ;

ω -ъглова честота на захранващото напрежение, s^{-1} ;

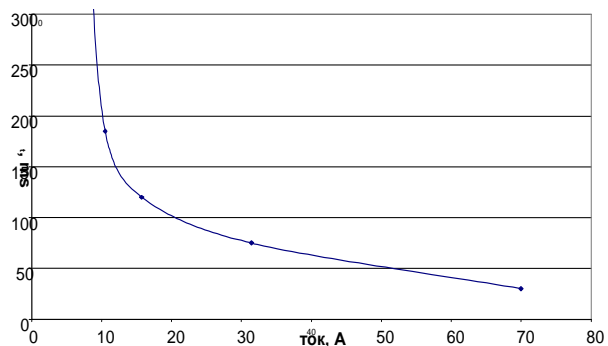
θ -начална фаза.

Задавани са различни стойности на товара R_2 и различни стойности на θ при съответния товар.Установи се ,че началната фаза влияе слабо върху времето на задействане на защитата. t_{zmin} и t_{zmax} са приблизително еднакви.

От получените резултати е построена приблизителната зависимост на времето на задействане на защитата t_3 от

първоначалната стойност на тока $I_2 = \frac{U_2}{R_2}$ през товара и

$x = x_{max}$ в момента $t = \Delta t$, която е показана на фиг.3.



Фиг.3

В сравнение с контактна МТЗ, предлаганото устройство е по-ефективно, защото със задействането му тока във веригата започва да се ограничава още преди достигане

на крайното му положение. По този начин отделената топлина при евентуално късо съединение е по-малка отколкото при използването на контактна МТЗ. Количествения анализ в това отношение е по-сложен и може да бъде обект на допълнително изследване.

Изводи

Показана е възможност за безконтактно изключване на еднофазно късо съединение, при което се получава ампер-секундна характеристика аналогична на контактните МТЗ.

Литература

1. Бонев С. Г., Малки и специални трансформатори, С. Техника, 1977 г.
2. Козаров А.С., Т. А. Върбев, Възможност за подобряване на захранването на осветителния товар в подземните рудници, Минно дело и геология, бр.8, 2004г.

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

СРАВНИТЕЛНА ОЦЕНКА НА ВЪЗМОЖНИ РЕШЕНИЯ ЗА НАМАЛЯВАНЕ НА РАЗХОДИТЕ ЗА ВОДООТЛИВ НА ПОДЗЕМЕН РУДНИК

Румен Исталиянов

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

РЕЗЮМЕ. В доклада е направена сравнителна оценка на възможни решения за намаляване на разходите за водоотлив на подземен рудник.
Ключови думи: подземни рудници, главни водоотливни уредби, разходи за водоотлив, себестойност на продукцията.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF OPTIONS FOR REDUCING POWER CONSUMPTION FOR DRAINAGE OF AN UNDERGROUND MINE

Rumen Istalianov

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

ABSTRACT. A comparative assessment of possible options for reducing the power consumption for drainage of an underground mine is presented in the paper.
Key words: underground mines, main draining installations, power consumption for drainage, production cost.

Въведение

Основното предназначение на главните водоотливни уредби в подземните рудници е ритмично и непрекъснато да изпомпват рудничната вода от главния водосборник на подземния рудник до повърхността. Всяко нарушение в режима на работата на главните водоотливни уредби е свързано със заливане на основния хоризонт на подземния рудник, спиране на производствения процес, поражение на редица електроапарати и машини, и не на последно място застрашава се живота на подземните работници.

За осигуряване висока надеждност в работата на главните водоотливни уредби, действащите нормативни документи в страната определят високи изисквания при тяхното проектиране и експлоатация (определят се като електропотребители нулева категория по условието за непрекъснатост на електроснабдяването; всяка главна водоотливна уредба трябва да бъде изградена с минимум три помпени агрегата и два водоотливни тръбопровода и др.)

Заедно с високите изисквания за надеждност, главните водоотливни уредби се явяват и един от най – мощните електропотребители на един съвременен подземен рудник. В зависимост от дълбочината на рудника и среднощния водоприток, разходът на електроенергия за водоотлив може да достигне от 15 до 30 % от общия разход на електроенергия за подземния рудник, което оказва съществено влияние върху себестойността на произвежданата продукция.

Изискванията за висока надеждност и ниски общи разходи за водоотлив определят актуалността на всички задачи, свързани с изследване и анализ на главните водоотливни уредби с цел повишаване на технико – икономическите им показатели чрез контрол разходите на електроенергия за водоотлив.

1. Техническа характеристика на главна водоотливна уредба на подземен рудник в експлоатация, обект на изследване

В таблица 1 са приведени основните изисквания за проектиране и експлоатация на главни водоотливни уредби на подземни рудници, които са изложени в нормативните документи [1,2,3].

В таблица 2 е представена водоотливна уредба на подземен рудник в експлоатация, обект на изследване, изходни данни, който характеризират водопритока в подземния рудник и режима на работа. Тези изходни данни са необходими за изчислителната проверка за основните елементи на главната водоотливна уредба.

В таблица 3 е представена техническата характеристика за основните елементи на главна водоотливна уредба на подземен рудник в експлоатация.

Таблица 1 Основните изисквания за проектиране и експлоатация на главни водоотливни уредби на подземни рудници

№	Показатели	Нормативни документи	
		ПБТ (В-01-01-01)	ПБТ (В-01-02-04)
1.	Категоризиране на рудниците по денонощен водоприток: Нормален водоприток Q_n - до 50 m ³ /h над 50 m ³ /h Q_n – нормален водоприток, m ³ /h	$Q_n \leq 50$ $Q_n > 50$	$Q_n \leq 50$ $Q_n > 50$
1.1.	Сезонен водоприток $Q_{сез.}$		
1.2.	Определяне обема на водосборника		
2.1.	Обем на водосборник за главен водоотлив – $V_{сб.}$	$V_{сб.} = 4 Q_n$	$V_{сб.} = 8 Q_n$
2.2.	Обем на водосборник за участъков водоотлив	$V_{сб.у} = 2 Q_n$	
3.	Отчитане намаляването обема на водосборника от затлачване	до 30 %	до 50 %
4.	Определяне броя на помпените агрегати:		
4.1.	При нормален водоприток $Q_n \leq 50$ m ³ /h	2	2
4.2.	При нормален водоприток $Q_n > 50$ m ³ /h	3 броя	3 броя
4.3.	При сезонен водоприток над 100 %		
5.	Определяне броя на напорните тръбопроводи	2 бр	2 бр
6.	Скорост на водата		
6.1.	В напорен тръбопровод	-	$V_d < 3$ m/s
6.2.	В смукателен тръбопровод	-	$V_d < 2,5$ m/s
7.	Категория на главните водоотливни по условието за непрекъснатост на електроснабдяването	0	0
8.	Определяне производ. на помпените агрегати, t=20h	$20Q_{нб} \geq 24Q_n$	$20Q_{нб} \geq 24Q_n$

Таблица 2 - изходни данни за водопритока в подземния рудник и режима на работа

№	Наименование на изходните данни	Означение	Числена стойност
1	Напор	H_r	427 m
2	Нормален денонощен приток на вода	$Q_{нор.}$	220 m ³ /h
3	Максимален приток на вода	$Q_{макс.}$	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_b	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 3 техническа характеристика за основните елементи на главна водоотливна уредба на подземен рудник в експлоатация

№	Показатели	Числена стойност
1.	Главни напорни помпи	
1.1	тип	ЦНС – 300 – 480
1.2	производителност	300 m ³ /h
1.3	напор	480 m
1.4	Обороти	1450
1.5	К.п.д.	0,73
2.	електродвигател	
2.1	Тип на двигателя	A4 – 400 Y – 4
2.2	Мощност	P = 630 kW
2.3	Напрежение	U = 6 kV
2.4	Ток	I _n = 72,5 A
2.5	Обороти	1500 об/мин
3.	Напорен тръбопровод	
3.1	вътрешен диаметър	305 mm
3.2	външен диаметър	325 mm
3.3	линейно тегло на тръбата	77,68 kg/m
3.4	допустимо раб. налягане	65 atm

3.Определяне на разходите за водоотлив на подземен рудник при трисменен режим на работа на главна водоотливна уредба (вар. 1)

3.1. Разпределение на тарифните зони по смени в границите на едно денонощие

Държавната комисия за енергийно регулиране с решение № Ц – 002 от 29.03.2002 г. определя единни за страната начални и крайни часове на тарифните зони, в денонощието и цената на електрическата енергия за съответните тарифни зони [4].

На фиг. 1 е представено разпределението на тарифните зони цената на електроенергията по смени в границите на едно денонощие при летен режим.

Едно такова разпределение позволява по – правилно да се организира и планира работата на отделни електропотребители с цел осигуряване изпълнение на производствените и технологични функции и консумиране на електроенергия с възможно най – ниска цена.

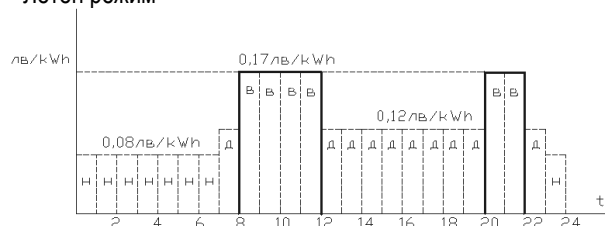
Разпределение на тарифните зони за 24 часа

Дневна тарифа – 10 часа

Нощна тарифа – 8 часа

Върхова тарифа – 6 часа

Летен режим



Фиг. 1. Разпределение на тарифните зони за 24 часа

3.2. Определяне на времето за работа по тарифни зони на помпена уредба при трисменен режим на водоотлив на подземен рудник (летен режим)

За определяне на времето за работа по тарифни зони в границите на едно денонощие трябва да се отчетът следните изходни данни:

- подземния рудник работи на три смени с продължителност на смяна 8 часа;

- общото време за изпомпване на водата от главния водосборник е 20 часа при нормален водоприток и 22 часа при максимален водоприток;

- главна помпена уредба работи и през трите смени, като част от времето в една смяна се използва за ревизия и проверка на обзавеждане на помпената уредба;

- в работа се намира само един помпен агрегат

Отчитайки цената на електрическата енергия през отделните тарифни зони, необходимото време за работа на помпената уредба за изпомпване на нормалния водоприток и необходимостта от време за ревизия и обслужване на обзавеждането на помпената уредба в таблица 4 е дадено разпределение на времето за работа на помпената уредба по тарифни зони за едно денонощие.

Таблица 4. Разпределение на времето за работа по тарифни зони на помпена уредба за едно денонощие при летен режим

Смяна	Начало-край на смяната	Тарифни зони			Режим на работа на помпената уредба			Общо час
		Дневна (час)	Нощна (час)	Върхова (час)	Дневна (час)	Нощна (час)	Върхова (час)	
I	От 8 до 16 ч.	4	-	4	4	-	2 (3)	6 (7)
II	От 16 до 24 ч.	5	1	2	5	1	1 (1,5)	7 (7,5)
III	От 0 до 8 ч.	1	7	-	-(0,5)	7		7 (7,5)
Общо	24 часа	10	8	6	9 (9,5)	8	3 (4,5)	20 (22)

Числата в скоби определят времето за работа на главна помпена уредба през отделните тарифни зони при максимален водоприток в подземния рудник.

По задание е зададено:

нормален водоприток в рудника през 330 дни в годината
 максимален водоприток в рудника през 35 дни в годината

3.3. Определяне на общото време за работа по тарифни зони на помпената уредба за една година (Вариант 1)

А) Нормален водоприток

Дневна тарифа: 330 дни x 9 часа = 2970 часа

Нощна тарифа: 330 дни x 8 часа = 2640 часа

Върхова тарифа: 330 дни x 3 часа = 990 часа

Проверка: 330 дни x 20 часа = 6600 часа

Б) Максимален водоприток

Дневна тарифа: 35 дни x 9,5 часа = 332,50 часа

Нощна тарифа: 35 дни x 8 часа = 280,0 часа

Върхова тарифа: 35 дни x 4,5 часа = 157,5 часа

Проверка: 35 дни x 22 часа = 770 часа

Разпределение на времето за работа на помпена уредба по тарифни зони за една година е дадено в таблица 5.

Таблица 5. Рекапитулация на общото време за работа на помпена уредба по тарифни зони за една година

Тарифни зони	При нормален водоприток (часа)	При максимален водоприток (часа)	Общо време (часа)
Дневна т.з.	2970	332,50	3302,50
Нощна т.з.	2640	280	2920,00
Върхова т.з.	990	157,50	1147,50
Общо	6600	770	7370,00

4. Определяне на разходите за електроенергия за една година, консумирана от помпената уредба на подземен рудник

Минното предприятие заплаща консумираната електроенергия по тарифни зони както следва:

Дневна – 0,12 лв/kWh

Нощна – 0,08 лв/kWh

Върхова – 0,17 лв/kWh

В цената за 1 kWh, която заплаща минното предприятие са включени: ДДС, такси за присъединяване на мощност, такса за пренасяне на мощност и доставна цена на електроенергията при ниво на напрежение – 20 kV (СН)

4.1. Определяне стойността на консумираната електроенергия за водоотлив на подземен рудник по тарифни зони за една година (Вариант 1)

Ще се използва формулата

$$C_j = Pna \cdot Kn \cdot c_j \cdot t_j \text{ [лв]}$$

където C_j – стойност на консумираната енергия по тарифни зони ($j = д, н, в$);

$Pna = 630 \text{ kW}$ – мощност на двигателя, задвижващ помпата;

$Kn = 0,9$ – коефициент на натоварване на двигателя;

c_j – цена на електроенергията през съответната тарифна зона ($C_d = 0,12 \text{ лв/kWh}$; $C_n = 0,08 \text{ лв/kWh}$; $C_v = 0,17 \text{ лв/kWh}$)

t_j – време за работа на помпения агрегат през съответните тарифни зони

$$t_d = 3302,5 \text{ h}; t_n = 2920,0 \text{ h}; t_v = 1147,0 \text{ h}$$

$$C_d = 630,0,9,0,12,3302,50 = 224702,10 \text{ лв}; C_d\% = 48,043 \%$$

$$C_n = 630,0,9,0,08,2920,00 = 132451,20 \text{ лв}; C_n\% = 28,319 \%$$

$$C_v = 630,0,9,0,17,1147,00 = 110559,30 \text{ лв}; C_v\% = 23,638 \%$$

Всичко: 467712,60 лв.

5. Определяне на условията за изключване на работата на главна водоотливна уредба през зоните за върхово натоварване на енергийната система (вариант 2)

В таблица 6 е дадено разпределението на времето за работа през тарифните зони за едно денонощие, като общото време за работа при нормален водоприток е 20 часа, а при максимален – 22 часа.

За изключване консумирането на електроенергия през върховата тарифна зона е възможно и допустимо да се реализира режим на едновременна работа на два помпени агрегата, всеки на самостоятелен напорен тръбопровод. Икономически е оправдано, режима на едновременна работа на два помпени агрегата да се реализира през III смяна, когато цената на електроенергията е най – ниска (0,08 лв/kWh).

Таблица 6 Определяне на условията за изключване на работата на главна водоотливна уредба през зоните за върхово натоварване на енергийната система

Смяна	Режим на работа на помпената уредба			Общо (час)
	Д.т.з. (час)	Н.т.з. (час)	В.т.з. (час)	
I	4	-	2(3)	6 (7)
II	5	1	1(1,5)	7 (7,5)
III	-(0,5)	7	-	7 (7,5)
Общо	9(9,5)	8	3(4,5)	20 (22)

За изключване работата на помпена уредба през върховата тарифна зона е необходимо обаче да се извърши следната задължителна проверка: има ли достатъчен обем за акумулиране на вода във водосборника, за реализирането на този режим на работа.

Какъв е максималния обем вода, който може да се акумулира в началото на III смяна.

В таблица 7 отново е дадено разполагаемото време за работа на помпена уредба по тарифни зони за едно денонощие.

Таблица 7 Разполагаемото време за работа на помпена уредба по тарифни зони за едно денонощие.

Смяна	Режим на работа на помпената уредба			Общо (час)
	Д.т.з. (час)	Н.т.з. (час)	В.т.з. (час)	
I от 8 до 16 ч.	4	-	4	8
II от 16 до 24 ч.	5	1	2	8
III от 0 до 8 ч.	1	7	-	8
Общо	10	8	6	24

Един от основните въпроси, на които трябва да се отговори е следния: Възможно ли е два помпени агрегата да работят едновременно по 7 часа през III смяна без да увеличаваме обема на водосборника?

Производителността на един помпен агрегат е $Q_{па} = 264$ м³/h

Два едновременно работещи помпени агрегата през III смяна по 7 часа ще изпомпат следния обем вода:

$$V_{вз} = 2 \cdot Q_{па} \cdot t_{III}^7 = 2 \cdot 264 \cdot 7 = 3696 \text{ м}^3$$

Където $Q_{па} = 264$ м³/h – производителност на един помпен агрегат;

$t_{III}^7 = 7$ часа – време за работа през III смяна (по най – ниска тарифа на електроенергията)

Обемът на водосборника е:

$$V_{всб} = 8 \cdot Q_{п} = 8 \cdot 220 = 1760 \text{ м}^3$$

Ако се отчете допускането до 50 % затлачване на водосборника, акумулираната вода във водосборника в началото на III смяна ще бъде:

$$V_{III}^H = 0,5 \cdot V_{всб} = 0,5 \cdot 1760 = 880 \text{ м}^3$$

Времето, за което ще бъде изпомпана водата от водосборника се определя по следния израз:

$$t_1 = \frac{V_{III}^H}{2 \cdot Q_{па}} = \frac{880}{2 \cdot 264} = \frac{880}{528} = 1,66 \text{ h}$$

През III смяна ще постъпи вода и от нормалния водоприток, обема на който се определя с изрза:

$$V_{III} = 7 \cdot Q_{п} = 7 \cdot 220 = 1540 \text{ м}^3$$

$$t_2 = \frac{1540}{2 \cdot 264} = \frac{1540}{528} = 2,91 \text{ h}$$

Максимално възможното време за едновременна работа на два помпени агрегата през III смяна се определя както следва:

$$t_{III}^2 = t_1 + t_2 = 1,66 + 2,91 = 4,57 \text{ h}$$

От направените изчисления следва извода, че не е възможно да се използва разполагаемото време от 7 часа през III смяна с най – ниската тарифа на електроенергията без допълнителни решения (например увеличаване обема на водосборника).

Разпределението на времето за работа на помпена уредба по тарифни зони при използване на максимално възможното време за едновременна работа на два помпени агрегата през III смяна е дадено в таблица 8.

Таблица 8. Разпределението на времето за работа на помпена уредба по тарифни зони при използване на максимално възможното време за едновременна работа на два помпени агрегата през III смяна

Смяна	Тарифна зона			Общо (час)
	Д.т.з. (час)	Н.т.з. (час)	В.т.з. (час)	
I	2 x 3,5 = 7	-	-	7
II	2 x 1 = 2 (2 x 2 = 4)	2 x 1 = 2	-	4 (6)
III	-	2 x 4,5 = 9	-	9
Общо	9(11)	11	-	20 (22)

5.1. Определяне на разходите за електроенергия при изключване на помпена уредба през върховата тарифна зона (Вариант 2)

А) Нормален водоприток

Дневна тарифа: 330 дни x 9 часа = 2970 часа

Нощна тарифа: 330 дни x 11 часа = 3630 часа

Б) Максимален водоприток:

Дневна тарифа: 35 дни x 11 часа = 385 часа

Нощна тарифа: 35 дни x 11 часа = 385 часа

Рекапитулация

За разпределение на времето за работа на помпена уредба по тарифни зони

Дневна тарифа	= 2970ч + 385 = 3355 часа
Нощна тарифа	= 3630ч + 385 = 4015 часа
Всичко:	7370 часа

Определяне на разходите за електроенергия при изключване работа на помпена уредба през върховите тарифни зони

Сд	= 630.0,9.0,12.3355 = 228274,20 лв
Сн	= 630.0,9.0,08.4015 = 182120,24 лв
Всичко:	410394,60 лв

Извод: Ако се реализира режим на едновременна работа на два помпени агрегата (работен и резервен), като всеки работи на самостоятелен напорен тръбопровод е възможно да се изключи работата на помпена уредба през върховата тарифна зона, когато цената на електроенергията е най – висока.

Икономическият ефект при този режим на работа ще бъде:
 $\Delta C = 467712,60 - 410394,60 = 57318,0 \text{ лв.}$

6. Определяне на условията за работа и на разходите за водоотлив при режим на еднократно изпомпване на водата в една смяна

За реализирането на режим за еднократно изпомпване на водата от главния водосборник на един подземен рудник в границите на една смяна е необходимо да бъдат решени следните задачи:

- Определяне обема на главния водосборник в подземния рудник при режим на еднократно изпомпване на водата в една смяна.

- Определяне производителността на главна помпена уредба при режим на еднократно изпомпване на водата в една смяна

- Определяне типа и броя на паралелно работещи помпи, осигуряващи режим на еднократно изпомпване на водата в една смяна.

6.1. Определяне обема на водосборника при режим на еднократно изпомпване в една смяна (Базов вариант)

Съгласно чл. 499 на „Правилник по безопасност на труда при разработване на рудни и нерудни находища по подземен начин” вместимостта на водосборниците на главния водоотлив трябва да бъде изчислен на едностранен нормален приток на вода, т.е. ако продължителността на една смяна е $t_{см} = 8$ часа, а нормалния водоприток по задание е $Q_{нор} = 220$ м³/час, то

$$V_{всб}^{ед} = t_{см} \cdot Q_{нор} = 8.220 = 1760 \text{ м}^3$$

Вариант за еднократно изпомпване

При режим на еднократно изпомпване се приема, че водата във водосборника трябва да се изпомпа за време $t = 6,5$ часа. При това условие обемът на водосборника трябва да акумулира нормалния водоприток минимум за 17,5 часа (24 – 6,5=17,5), т.е.

$$V_{всб}^{ед} = 17,5 \cdot Q_{нор} = 17,5.220 = 3850 \text{ м}^3$$

За осигуряване на известен резерв ще се приеме обема на водосборника да бъде изчислен за 20 часов нормален водоприток, при което ще се получи

$$V_{всб}^б = 20 \cdot Q_{нор} = 20.220 = 4400 \text{ м}^3$$

Обема на водосборника ще се увеличава както следва:

$$\Delta V = V_{всб}^{ед} - V_{всб}^{баз} = 4400 - 1760 = 2640 \text{ м}^3$$

6.2. Определяне производителността на помпена уредба при режим на еднократно изпомпване

Нормалният часов водоприток е $Q = 220 \text{ м}^3/\text{ч}$. Денонощния водоприток ще бъде $Q_{ден} = 24$. $Q_{нор} = 24.220 = 5280 \text{ м}^3$

Необходимата производителност на помпената уредба ще се определя от условието

$$6,5 \cdot Q_{пу} = 24 \cdot Q_{нор} = 5280 \text{ м}^3$$

$$\text{или } Q_{пу} = \frac{Q_{ден}}{t} = \frac{5280}{6,5} = 812 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

6.3. Определяне типа и броя на паралелно работещите помпи при режим на еднократно изпомпване

Разгледат се следните възможни варианти за обзавеждане на помпена уредба с помпени агрегати (помпа + двигател), осигуряващи възможност за еднократно изпомпване на водата във водосборника.

Вариант 3: Използване само на еднотипни помпи, както при базовия вариант.

Вариант 4: Допълване на базовото обзавеждане с един, по – високопроизводителен помпен агрегат.

Вариант 5: Обзавеждане на помпена уредба с нови помпени агрегати.

За всеки един от възможните варианти се изпълняват необходимите проверовъчни изчисления.

6.3.1. Определяне броя на помпените агрегати за Вариант 3:

Необходимия брой паралелно работещи помпи от типа при базовия модел ще бъде:

$$N = \frac{Q_{пу}}{Q_{п.а}^б} = \frac{812,30}{264} = 3,076 \text{ броя}$$

Където $Q_{пу} = 812,30 \text{ м}^3/\text{ч}$ – необходимата производителност на помпената уредба, с която се осигурява еднократен водоотлив за $t = 6,5$ часа;

$Q_{п.а}^б = 264 \text{ м}^3/\text{ч}$ – производителност на помпен агрегат от типа на базовото обзавеждане.

Извод: За използване само на еднотипни помпи, както при базовото обзавеждане и за осигуряване необходимата производителност на помпената уредба е необходимо да се осигури паралелна работа на 3 броя помпени агрегата от типа на базовия вариант.

Необходимо обзавеждане на помпена камера на главна водоотливна уредба за еднократно изпомпване:

3 броя помпи в паралелна работа

1 брой резерв

1 брой в ремонт

6.3.1.1. Проверка сечението на напорните тръбопроводи

Ще се приеме следния режим на работа на помпените агрегати:

2 броя помпени агрегата ще работят в паралел на един напорен тръбопровод;

1 брой помпен агрегат ще работи на резервния напорен тръбопровод.

6.3.1.2. Изчислителна проверка за възможността на съществуващия напорен тръбопровод да работят в паралел два помпени агрегата

Вътрешния диаметър на напорния тръбопровод се определя по формулата

$$d_{\text{вн}}^{\text{нан}} = 0,0188 \sqrt{\frac{n \cdot Q_{\text{ПА}}}{V_H}}$$

, където $n = 2$ – брой на паралелно работещите помпи;
 $Q_{\text{ПА}} = 300 \text{ m}^3/\text{h}$ – производителност на един помпен агрегат;
 $V_H = 3 \text{ m/s}$ – допустима скорост на водата в напорния тръбопровод.

Като се заместят числените стойности в горната формула се получава

$$d_{\text{вн}}^{\text{нан}} = 0,0188 \sqrt{\frac{2 \cdot 300}{3,0}} = 0,0188 \cdot 14,14 = 0,265 \text{ m}$$

В процеса на експлоатация вътрешния диаметър на тръбопровода ще се намалява в резултат на полепвания по стените.

С отчитане на този процес избираме стоманени безшевни горещовалцовани тръби от стомана Ст. 4 със следните технически данни:

$d_{\text{вн}}^{\text{нан}} = 305 \text{ mm}$ – вътрешен диаметър на тръбопровода;
 $d_{\text{вн}}^{\text{ван}} = 325 \text{ mm}$ – външен диаметър на тръбопровода;
 $\delta = 10 \text{ mm}$ – дебелина на стената на тръбата;
 $q = 77,68 \text{ kg/m}$ – линейно тегло на тръбата;
 $p = 65 \text{ atm}$ – допустимо работно налягане на тръбата.

Полученият резултат показва, че напорния тръбопровод при базовата помпена уредба осигурява условия за нормална работа на два помпени агрегата.

6.3.2. Определяне на броя на помпените агрегати при Вариант 4:

Допълване на базовото обзавеждане с един по – мощен помпен агрегат

От справочника на Попов В. М. (стр. 62, табл. 2.6) избираме помпен агрегат със следната техническа характеристика:

$Q_n = 500 \text{ m}^3/\text{h}$ – производителност на помпата;
 $H = 480 \text{ m}$ – напор;
 $P = 1000 \text{ kW}$ – мощност на задвижващия двигател;
 $\eta_n = 73 \%$ - к.п.д. на помпата;
 $n = 1450 \text{ s}^{-1}$.

За осигуряване необходимата производителност на помпената уредба трябва да работят едновременно (не в паралел) два помпени агрегата:

1 брой помпен агрегат с производителност $Q_n = 318 \text{ m}^3/\text{h}$,
 1 брой помпен агрегат с производителност $Q_n = 500 \text{ m}^3/\text{h}$,

Организация на работата на помпените агрегати: Всяка помпа ще работи на самостоятелен напорен тръбопровод.

Изчислителната проверка на тръбопроводите не е необходима, тъй като са избрани при условието: $2 \cdot Q_n = 2 \cdot 300 > Q_n = 500 \text{ m}^3/\text{h}$

Тъй като всяка помпа в работа изисква осигуряването на резервна помпа и помпа в ремонт, то за вариант 2 е необходимо да се доставят 3 броя нови помпени агрегата и използване на 3 – те броя базови помпени агрегата.

За новите помпени агрегата трябва да се избере ново обзавеждане:

силов захранващ кабел – 2 броя
 високоволтов прекъсвач – 2 броя

6.3.3. Определяне броя и типа на помпените агрегати при Вариант 5: обзавеждане на помпената уредба с нови помпени агрегати

Приема се обзавеждане на помпената уредба с четири броя помпени агрегата със следните технически характеристики:

$Q_n = 500 \text{ m}^3/\text{h}$ – производителност на помпата;
 $H = 480 \text{ m}$ – напор;
 $P = 1000 \text{ kW}$ – мощност на задвижващия двигател;
 $\eta_n = 73 \%$ - к.п.д. на помпата;

Организация на работа на помпената уредба:

Едновременна работа на два помпени агрегата, като всеки помпен агрегат работи на самостоятелен напорен тръбопровод.

Изчислителна проверка за сечението на тръбопроводите не е необходимо.

За новите помпени агрегати е необходима смяна на силовите захранващи кабели и на високоволтовите прекъсвачи за управление на новите двигатели на помпите.

Ще се доставят четири броя помпени агрегати:

2 броя за едновременна работа;
 1 брой в резерв;
 1 брой в ремонт.

Поради по – големите размери на новите помпени агрегати е необходимо да се разшири помпената камера и да се построят нови фундаменти за помпените агрегати.

Определяне на времето за еднократно изпомпване на водата във водосборника при вариант 5:

$$t = \frac{V_{\text{всб}}}{Q_{\text{п.у}}} = \frac{V_{\text{всб}}}{2 \cdot Q_{\text{п.а}}} = \frac{5280}{2 \cdot 500} = 5,28 \text{ h}$$

7. Сравнителна оценка на разходите за водоотлив по вариант 1 и вариант 5 (таблица 9)

Таблица 9. Сравнителна таблица на разходите за водоотлив по вариант 1 и вариант 5

№	Елементи на разходите	Вариант 1 лв	Вариант 5 лв	+ / - лв
1.	Разходи за водоотлив за една година	1093679,89	516651,93	
2.	Разходи за ново капитално строителство	-	567750,0	
Всичко :		1093679,89	1084401	+ 9277,96

Изводи: Вариант 5, използващ режим на еднократно изпомпване в една смяна се оказва изключително ефективен режим на работа на главна водоотливна уредба на подземен рудник.

Основни източници за формиране икономическия ефект на този режим се явяват:

1. За денонощния водоотлив на подземния рудник се използва само електроенергия с най – ниска тарифа (през III смяна).
2. Съкращават се разходите за ФРЗ, транспортни разходи, допълнителни разходи за ФРЗ, амортизации и електроенергия за спомагателни електроконсуматори за I и II смяна за една година.
3. Разходите за ново капитално строителство се възвръщат само за една година с печалба от 9277 лв, което е още едно доказателство за предимст-

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

вата на вариант 5 за водоотлив на подземен рудник.

Литература

1. Наредба № 3 за устройството на електрическите уредби и електропроводните линии, обнародвана в ДВ, бр. 90 и 91 от 2004 г.
2. Правилник по безопасността на труда при разработване на рудни и нерудни находища по подземен начин (В – 01 – 02 – 04), ДИ “Техника”, София, 1972.
3. Правилник по безопасност на труда в подземните въглищни рудници (В-01-01-01).1992.
4. Решение № Ц – 002 от 29.03.2002 г. на Държавната комисия за енергийно регулиране

ДАТЧИК ЗА ЛИНЕЙНО ПРЕМЕСТВАНЕ

Снежана Стоянова

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: Stoyanova_8000@yahoo.com

РЕЗЮМЕ: Описан е преобразувател със сравнително проста конструкция с две положителни качества. Първо, осигурява линейната зависимост $U_{max} = kx$, където x е преместването на арматурата и второ – създава незначителен съпротивителен момент при преместването си, като по този начин не упражнява влияние върху измерването на преместването на изследвания обект.

Ключови думи: сенсор, линейно преместване, бубина на Хелмхолц, напрежение, магнитна индукция

SENSOR FOR LINEAR MOVING

Snejana Stoyanova

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, E-mail: Stoyanova_8000@yahoo.com

Abstract: A transducer with comparatively simple construction that has two positive qualities is described. Firstly it ensures linear dependence $U_{max} = kx$, where x is the moving of the armature and secondly – it creates insignificant resistance moment under its moving, that is way it does not exercise influence on the measure of the investigated object moving.

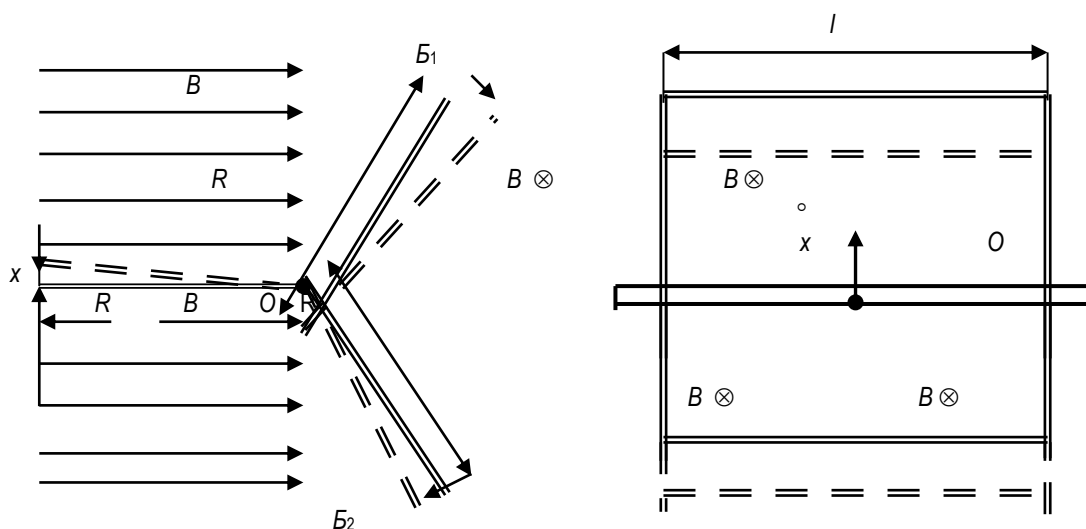
Key words: sensor, linear moving, Helmholtz's coil, voltage, magnetic inductance.

В някои случаи се налага да се изследва опитно движението на котвата при различни електромагнитни механизми. За да се осцилографира закона на движение се използват различни преобразуватели „преместване - напрежение“. Такива са например потенциометрични, индуктивни, тензометрични, капацитивни и индуктивно-капацитивни или вихровотоков датчик[2][5][6]. В други случаи се предлагат преобразуватели, при които преместването се преобразува в индуктивност и взаимна ин-

дуктивност на две бобини, както и с отсечков линеализатор за повишаване точността на преобразувателя[2][3].

Постановка на въпроса. Задачи за решаване

Принципна схема на датчик за линейно преместване е показана на фиг. 1.

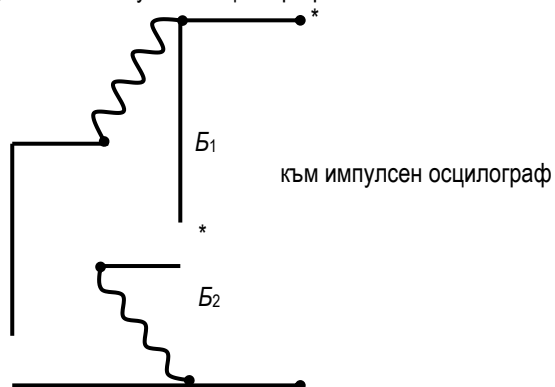


фиг.1 Принципна схема на датчик за линейно преместване

Датчикът се състои от:

- две еднакви правоъгълни бобини B_1 и B_2 ;
- обща ос на въртене O ;
- лост.

Бобините B_1 и B_2 са закрепени под прав ъгъл за общата ос на въртене O . Те са разположени в хомогенно магнитно поле, създадено например от двойка бобини на Хелмхолц, непоказани на фигурата[1][4]. Магнитната индукция се изменя по синусоиден закон. Бобините са свързани противоположно, съгласно фиг.2. Общите им изводи се подават към импулсен осцилограф.



фиг.2 Свързване на бобините B_1 и B_2

В изходно положение бобините са разположени симетрично спрямо хоризонталната равнина и напрежението на общите изводи е нула. При подаване на преместване x от долу на горе върху лоста вляво от оста O , магнитният поток през горната бобина B_1 намалява, а през долната B_2 се увеличава. Следователно балансът се нарушава и на изводите се получава напрежение.

Елементарен математически анализ показва, че ако $x \leq 0,1R$, амплитудата на изходящото напрежение се определя от израза:

$$U'_{max} = \sqrt{2} I B_m \omega x', U_{max} = \sqrt{2} I B_m \omega x,$$

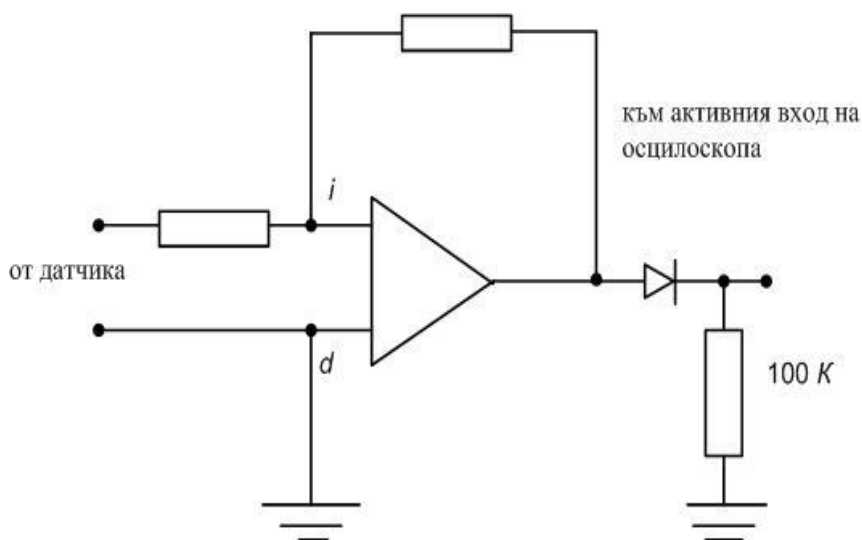
където B_m – амплитудата на индукцията;

ω - кръговата честота;

x – линейното преместване.

Усилване и двупътно изправяне на изходящия сигнал:

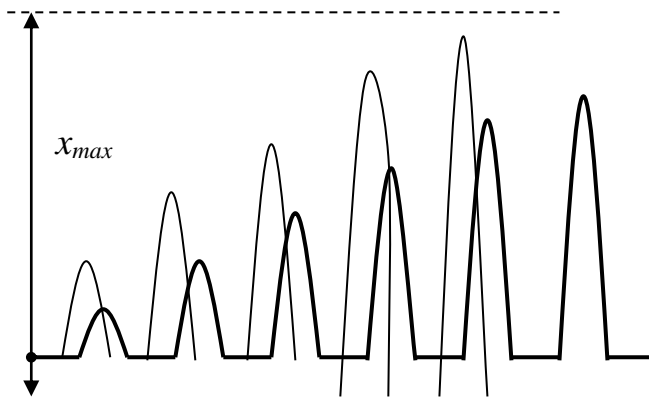
За да се получи по - добро използване на екрана на осцилографа по оста Y е уместно изходящият сигнал да се усили и да се изправи двупътно съгласно фиг.3:



фиг.3 Усилване и двупътно изправяне на изходящия сигнал

Освен това, при изследване на заработването на електромагнитен механизъм, величината x нараства монотно. Това позволява да се разшири и обхвата на осцилографиране по оста X , като се регистрират два или три периода на разгъвка в хоризонтална посока. В резултат се получава осцилограма от вида на фиг.4.

Допълнително удобство тук е, че мащабът на времето е зададен по честотата ω , а мащабът на Y се определя също независимо от осцилоскопа, тъй като максималната стойност на x , x_{max} е изместена и равна на въздушната междина (пътя, който изминава подвижната част).



фиг.4 Осцилограма (монотонно нарастване на величината x) - разгъвка в хоризонтална посока

Заклучение:

Предложен е електромагнитен датчик за преобразуване на малки премествания в амплитуда на синусоидалния сигнал. Той е предназначен за осцилографиране на процеса на придвижване на котвата на различни електромагнитни механизми и може да бъде използван при опитно изследване на някои преходни процеси в електромагнитните механизми. Предимство на датчика е незначителната му маса и практическата липса на съпротивително усилие при движение подвижните части.

Литература

- Балтаджиев, А., Електрически измервания., София, ДИ „Техника”, 1965.
- Дзержицкий, С., Испытания электрических аппаратов, „Энергия”, 1977.
- Инструкция за дистанционно управление и програмно снабдяване на компютър за FLUKE 99 на SkopeMeter тестващо устройство.
- Костов, Ж.И., Куртев, И.А. и др., Електрически измервания. С., Техника, 1977.
- Петин, О.В., Щербаков, Е.Ф., Испытание электрических аппаратов, „Высшая школа”, Москва 1985.
- Operation and Maintenance Manual 7200 Series Nontouching, Eddy Current Proximity Transducer, May 1976, Revised July 1981.

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

ЕФЕКТИВНОСТ НА ЗАЩИТИТЕ ОТ УТЕЧКА ПО ТОКА С НУЛЕВА ПОСЛЕДОВАТЕЛНОСТ В СИСТЕМИТЕ С ИЗОЛИРАНА НЕУТРАЛА

Стефан Чобанов

СМС-С ЕООД, 2070 Пирдон

РЕЗЮМЕ. Анализира се чувствителността на защитите от утечка по тока с нулева последователност в IT системите с изолиран звезден център на трансформатора. Доказва се възможността за приложението им като селективни защити за крайните консуматори при петпроводните (3P+N+PE) системи.

EFFECTIVENESS OF PROTECTIONS AGAINST LEAKAGE ON CURRENT WITH ZERO SEQUENCE IN SYSTEMS HAVING INSULATED NEUTRAL

Stefan Chobanov

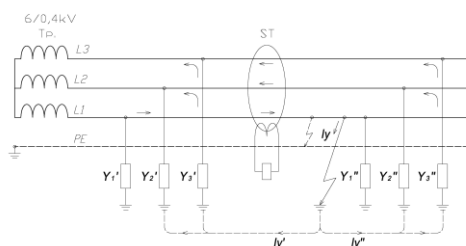
СМС-С Electrical engineering

ABSTRACT. There is analyzed the sensitiveness of the protections against leakage of current with zero sequence in IT systems, having insulated star center of the transformer. The possibility for their implementation as selective protections for the final consumers in five-conducting (3P+N+PE) systems has been proved.

Защитата от утечки, чувствителна към токове с нулева последователност, наричана често Дефектно – токова защита (ДТЗ) е съществен елемент в защитното изключване, предпазващо от директен и индиректен допир в системите за ниско напрежение (НН) със заземена неутрала (TN-S). Подходящо подобрени по чувствителност и бързодействие те позволяват да се изгради ефективна и селективна защита, гарантираща висока степен на безопасност и надеждност.

Защитите, реагиращи на тока с нулева последователност, генериран при утечки, се считат за неприложими или не подходящи в системите с изолирана неутрала (IT) [1,2,6,7]. Това становище изградено за трифазните 3P+PE системи и основанието за това са следните:

1. Чувствителността на защитата зависи от нейното пространствено разположение спрямо източника (фиг.1).



Фиг.1

Токът на утечка I_y в една от фазите затваря през изолационните проводимости на другите две фази спрямо земя: една част от него Y_1' се затваря през проводимостите Y_2', Y_3' преди чувствителния елемент - сумиращия трансформатор ST, а другата част I_y'' се затваря през проводимостите Y_2'', Y_3'' след ST.

Токът I_y'' предизвиква дебаланс в ST, защото през ST не протичат неговите съставки в L_2 и L_3 , а само в L_1 . Токът I_y'' , който преминава през L_1 не предизвиква дебаланс, защото неговите съставки през L_2 и L_3 , се сумират с него в ST и $\sum I_{yi}'' = 0$.

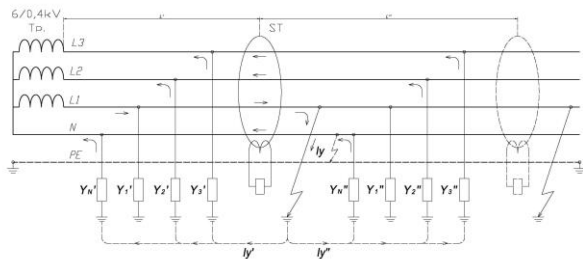
Така ако защитата (ST) е разположена непосредствено до захранващия трансформатор T_p , тя ще има нулева чувствителност. С отдалечаване от T_p , с нарастване на проводимостта на изолацията преди ST, чувствителността ще нараства.

2. Защитата е чувствителна и към токове с нулева последователност, които може да се генерират при асиметрия в захранващото напрежение в натоварването на отделните фази и при висши хармоници в тока. Този проблем не трябва да се пренебрегва, особено при използване на чувствителни защити от допир с $\Delta I_N = 25mA$. В този случай не са изключени и лъжливи изключения.

3. Като съществен недостатък на защитата от утечки, чувствителна към токове с нулева последователност се посочва обстоятелството, че не реагира на симетрично нарастване на изолационната проводимост. На практика едновременно и симетрично намаляване на изолацията на трите фази едва ли е възможно. Впрочем този проблем се отнася и за TN-S системата, но при анализите не се третира.

Точността изисква да се подчертае, че защитите от утечки за IT системи, които използват оперативно напрежение, реагират и на симетрично изменение на изолационната проводимост (съпротивление).

Интересът към защитите от токови утечки, идентифицирани чрез токове с нулева последователност и тяхната преоценка за IT системите са провокирани от идеята за приложение в рудниците на петпроводните мрежи (3P+N+PE) с изолирана неутрала [1]. В тази система може да се елиминира чувствителността на защитите със ST, спрямо токовете с нулева последователност генерирани от асиметрията във фазните токове или от висши хармоници (т.2). Достатъчно условие за това е и N проводникът да се обхване от сумиращия трансформатор ST (фиг.2).



Фиг.2

При това

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 + \dot{I}_N = 0 \quad (1)$$

като през N проводника ще протича ток

$$\dot{I}_N = -(\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3) = \Delta \dot{I} \quad (2)$$

компенсиращ асиметрията в трите тока $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3$

Така се отстраняват лъжливите изключения и в най-чувствителните защити, които в селективно изградените системи се прилагат като периферни т.е. за отдалечените консуматори. А в тези зони, посочения недостатък в т.1 е пренебрежим, особено ако може количествено това да бъде оценено.

Проводимостта на изолацията Y и нейните съставки – активна g и капацитивна ϵ_c в анализите се възприемат като съсредоточена, в същност са разпределени по дължината на мрежата .

$$Y = g + \epsilon_c = y_o L = (g_o + j\omega C_o) L$$

където:

g_o и C_o са съответно активна проводимост и капацитетът за 1 дължина (напр. km), спрямо земя,

L - дължината на кабела, за който се оценява проводимостта спрямо земя, km

Капацитетът C_o зависи от типа и сечението на кабела и е симетричен спрямо земя. Това е достатъчно основание да се пренебрегне при анализа на защитата от токови утечки със сумиращ трансформатор ST, тъй като сумата от токовете от капацитивната съставка на проводимостта е нула, а токът от капацитетът на N проводника е пренебрежимо малък по две причини – напрежението е малко, а сечението му е поне с една степен по-малко спрямо сечението на фазните проводници.

Така с достатъчна точност може да приемем за конкретния анализ, че:

$$Y_i \approx g_i = g_o L_i \quad (3)$$

Означавайки дължините на мрежата: от сумиращия трансформатор ST до силовия трансформатор T_p с L' , а от ST до последния (краен) консуматор с L'' , проводимостите ще бъдат съответно

$$Y' = g_o L' \quad (4)$$

$$Y'' = g_o L''$$

При утечка в една от фазите (фиг.2), в спрямо случая от L_1 , токът на утечка I_y ще има две съставки: Едната I_y' , която се затваря през проводимостите Y' и втората I_y'' - през проводимостта Y''

$$\dot{I}_y = \dot{I}_y' + \dot{I}_y''$$

Трансформаторът ST ще сумира I_y и I_y'' , т.е. магнитния поток в тороида ще се формира от

$$\dot{I}_y - \dot{I}_y'' = \dot{I}_y - (\dot{I}_{yL_2}'' + \dot{I}_{yL_3}'' + \dot{I}_{yN}'') \neq 0 \quad (5)$$

Съставната I_y' ще се затвори през изолациите на мрежата в зоната L' , без да премине през ST.

Следователно, от съотношението $\frac{|\dot{I}_y'|}{|\dot{I}_y''|}$. ще зависи големината на сумарния ток в ST, т.е. тока I_p в изключвателния елементи ИЕ. Ако $I' = 0$, то и $I_p = f\left(\frac{I'}{I''}\right) = 0$,

следователно защитата няма реагира на възникнала утечка.

$$\begin{aligned} \text{Отчитайки, че } I_y &\equiv g_y; I'_y \equiv Y' \equiv g_o L'; \\ I''_y &\equiv Y'' \equiv g_o L'' \text{ при } Y' \neq Y'' \end{aligned}$$

Токът през релето може да се запише с формулата:

$$I_p = \frac{I_y}{1 + \frac{L''}{L'}} = K_e I_y \quad (6)$$

където K_e ще назовем коефициент на ефективност ако, ST, т.е. релето от утечки се намира в средата на мрежата, при което $L' = L''$:

$$I_p = \frac{I_y}{2}$$

това е така, защото $I'_y = I''_y$, а през ST некомпенсиран ще остане само съставната $I'_y = 0,5I_y$, а I''_y ще се компенсира изцяло.

Коефициентът на ефективност в (6) представлява

$$K_e = \frac{1}{1 + \frac{L''}{L'}} \quad (7)$$

и характеризира каква част от тока на утечка предизвиква реакция в ST.

Ако е приета (или избрана) защита с настройка $\Delta I_N = 30mA$. В TN-S мрежа, при ток на утечка $I_y = 30mA$, защитата ще се задейства, защото I_y се затваря в контура $T_p-S_t-Y_{yL1}-PE-земля-N-T_p$.

Но IT (3P+N+PE) системата, през ST част от тока на утечка, I''_y се компенсира от "влизачите" съставки на този ток

$$I''_{yL2} + I''_{yL3} + I''_{yN} = -\Delta I''_y; \sum I''_{yi} = 0$$

контурът за I''_y е:

$$T_p - S_t - Y_{yL1} - Y'_2, Y'_3, Y_N' - ST - T_p$$

контурът за I'_y е:

$$T_p - S_t - Y_{yL1} - Y'_2, Y'_3, Y_N' - T_p$$

т.е. през ST преминава само I'_y , а $I'_{yL1}, I'_{yL2}, I'_{yL3}, I'_{yN}$ не преминава през ST.

Защитата в общия случай ще реагира $I_{зад} \geq I_y \geq 30mA$. Тя би реагирала на този ток само $L'_1 \rightarrow 0$, т.е. ако тя се намира в края на мрежата, тогава $I''_y \equiv g_o L'' = 0$, а през ST ще премине еднопосочно само I'_y , който в случая е $I'_y = I_y$.

Количествена оценка за влиянието на пространственото разположение на защитата, и по точно на нейния чувствителен елемент, сумиращия трансформатор може да се получи от изследване коефициента на ефективност $K_e = f(L'', L')$.

Стойностите на K_e по (7) при независима променлива L' , при константна стойност $L'' \in (5-1000m)$ в диапазона на числените стойности на $L' \in (5-1000m)$ за изобразените графично с кривите на фиг.3.

От получените криви за всеки конкретен случай на разположение на разклонение на защитата с определена с определена чувствителност на защита ΔI_N , оцени тока който има активизиращо действие ($\Delta I_{зад}$):

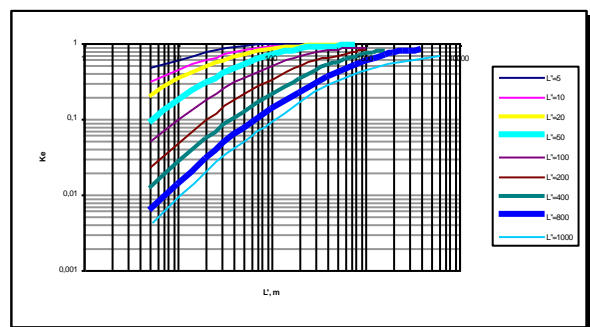
$$\Delta I_{зад} = \frac{\Delta I_N}{K_e} \quad (8)$$

Практически може да се реши и обратната задача. При необходима чувствителност $\Delta I_{зад}$, да се избере чувствителността на апарата ΔI_N , в зависимост от конфигурацията на мрежата, т.е. в зависимост от L' и L'' . Определя се K_e , и се избира апарат с настройка

$$\Delta I_N = \Delta I_p \cdot K_e \quad (9)$$

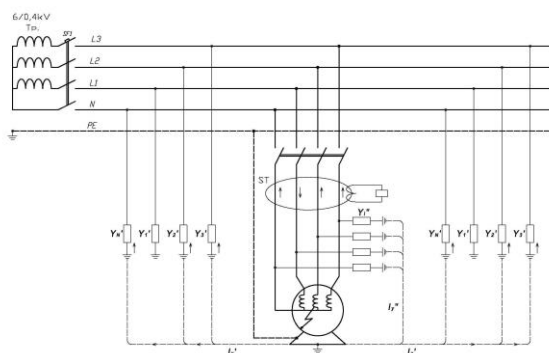
при което естествено е $\Delta I_N = \Delta I_{зад}$

От анализа на коефициента на ефективност на фона на графичните зависимости на фиг.3 се стига до интересни изводи с теоретично и практическо значение.



Фиг.3

1. Независимо от елиминирането на влиянието на асиметрията, ДТЗ защита от утечки и с нулева последователност в петпроводните IT системи с чувствителност $\Delta I \leq 30mA$, гарантиращи безопасност при директен допир, е практически невъзможна, а ако защитата е в близост до трансформатора. При отстояние, например на 10-20м., трябва да се избере с 20 пъти по-голяма чувствителност ($K_e = 0.05$), т.е. $\Delta I = 1.5mA$, а ако дължината на кабелната мрежа е 1000м. – с 50 пъти по-малък ток ($K_e = 0.02$), т.е. $\Delta I = 0,6mA$. Защити с такава чувствителност не се произвеждат.
2. Използването на защити от утечки с тока на нулева последователност с $\Delta I_N = 50mA$ обаче е възможно при защита на крайни потребители. Това се илюстрира с фиг. 4. Към зона L' спадат всички кабели и ако общата им дължина е $L' = (800 - 1000)m$, чувствителността на защитата намалява с по-малко от 5%, което практически е пренебрежимо малко и е в границите на точността.
3. Обоснована се оказва практическата възможност за изграждане на селективна хибридна защита: контрол на изолацията и защитно изключване на цялата мрежа с конвенционална технически средства (релета от утечка), базирани на оперативно напрежение за контрол в комбинация с релета от утечки с тока с нулева последователност за всеки потребител които защитното изключване се осъществява с по-голямо (2 до 5 пъти) бързодействие на крайните консуматори (ел.двигатели), и които ще заменят използваните апарати за предварителен контрол на изолацията (блокираща релета от утечки).



Фиг.4

Препоръчана за публикуване от
Редакционен съвет

Както е известно с блокиращи релета от утечки (БРУ) се изгражда така наречената “псевдоселективна” защита от утечки, която масово се използва в рудниците. При утечка, независимо къде е възникнала се изключва цялата мрежа. Откриването на зоната с утечка се идентифицира от БРУ, които блокират (не допускат) включването на зоната (потребителя) с утечка, след възстановяване на напрежението.

В заключение трябва да се подчертае, че изградената по този начин селективна хибридна защита от утечки, не противоречи на изискванията на нормативните документи за безопасна експлоатация на електрическите уредби в мините [3,4,5], а с въвеждането и ще се намалят престоите от неселективните изключения, като се улесни откриването на зоната с дефектиралата изолация. Това е съществено допълнително предимство в полза на предлаганата система ЗР+N+РЕ за мините.

Литература

- Чобанов Ст, М.Ментешев. Петпроводна (ЗР+N+РЕ) система с изолирана неутрала (IT) в мините. Годишник на МГУ “Св. Иван Рилски”, том 51, св.III, С.2008
- Данков Е. Електроснабдяване на минните предприятия. с.Техника, 1991.
- Правилник по безопасност на труда при разработване на въглищни находища по подземен начин, Техника, С., 1971
- Правилник по безопасност на труда при разработване на полезни изкопаеми по открит начин. Техника, С., 1982
- Правилник по безопасност на труда при разработване на рудни и нерудни находища по подземен начин. Техника, С., 1996
- Наредба №3 за устройство на електрическите уредби и електропроводните линии, МЕ,С., 2004
- Hofheinz W.Protective Measures with Insulation Monitoring. VDE Verlag. Berlin, Offenbach, 2000

ШТЕПСЕЛЕННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ДЛЯ ГОРНОРУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Стефан Чобанов¹, Иван Иванов²

¹ СМС-С ЕООД, 2070 Пирдоп

² МП-МЕТАЛПЛАСТ АД, 2070 Пирдоп

РЕЗЮМЕ: Необходимость штепсельных соединений для сравнительно большого тока 250А и напряжении 1000V связывается с нарастанием мощности и расширенного применения передвижных шахтных машин в горнорудной промышленности и в частности для ГРП "Челопеч".

PLUG CONNECTIONS FOR MINING INDUSTRY

Stefan Chobanov¹, Ivan Ivanov²

¹ СМС-С Electrical engineering

² МР Metalplast AD, 2070 Pirdop

ABSTRACT. The necessity of plug connections for relatively big current of 250A and voltage 1000V is related to increasing of power and wide application of the portable mining machines in the mining industry and in particular for "Chelopech" mine.

Введение

Доставка штепсельных соединителей (Ш.С.) для тока до 125А и напряжения до 690VAC не является проблемой, так как они предлагаются многими производителями в Европе. Ш.С. для большего тока и для напряжения 1000V встречаются очень редко.

Это и есть мотивы для разработывания и производства в СМС-С Электроинженеринг, совместно с Металлпласт необходимых Ш.С. для 250А и напряжения 1000V с 4 контактными соединениями (3P+PE) для применения в рудничных IT сетях с изолированной нейтралью.

Вычисления основных параметров

Вычисления для определения основных параметров и размеров контактного соединения сделаны для Ш.С. с токами 250А и 400А. Они охватывают: контактную силу, геометрических размеров контактного соединения, токов сваривания, тока термической устойчивости в режиме короткого замыкания, при воспринятой розетковой системы, в качестве самой подходящей.

1. Контактная сила

1.1. Контактная сила, приведенная к 1 пластине в розеточной конструкции

$$F_k = \Delta F_k I_n \quad (1)$$

где ΔF_k - контактная сила для 1А; $\Delta F_k = 0.15N / A$ [1]

при одной контактной пластине, контактная сила будет:

для тока 250А

$$F_k^{(1)} = 0,15 \cdot 250 = 37,5N ,$$

для тока 400А

$$F_k^{(1)} = 0,15 \cdot 400 = 60N ,$$

Контактная сила, при общей (охватывающей n пластины) пружине - $F_k^n = nF_k^1$

Результаты вычисления для $n = 4, 6, 8, 10$ и 12 пластин представлены в таблице 1.

Таблица 1

Номинальный ток, А	Контактная сила, N, при число пластин в розетке					
	2	4	6	8	10	12
250	75	150	225	300	375	450
400	120	240	360	480	600	720

1.2. По критерию для тепловых процессов при установленном режиме с номинальным током, контактная сила для 1 пластины из твердой меди вычисляется [2]:

$$F_k = \frac{1,2 \cdot I_n^2 \cdot A \cdot \pi \cdot \sigma_{cm}}{16 \cdot \lambda^2 \left[\arccos \frac{T_0}{T_k} \right]^2} = \frac{1,2 \cdot I_n^2 \cdot 224 \cdot 10^{-8} \cdot \pi \cdot 510 \cdot 10^6}{16 \cdot 100^2 \cdot \left(\arccos \frac{303}{313} \right)^2}, N \quad (2)$$

где

I_n - номинальный ток, А

A - константа = $224 \cdot 10^{-8}$ [1]

σ_{cm} - напряжение раздавливания, N/m²

λ - специфическая теплопроводности, W/m^{°K}.

T_0 - температура в точке, в которой не чувствуется

влияние конт.соединения, °K

T_k - температура в месте контакта, °K

Результаты вычислений для токов $I_n = 250$ А и 400 А и розеток с 4, 6, 8, 10 и 12 пластин представлены в таблице 2.

Таблица 2

Номинальный ток, А	Контактная сила, N для твердой меди, при число пластин в розетке				
	4	6	8	10	12
250	34,4	51,06	68,6	86,0	102,12
400	88	132	176,0	220,0	264,0

Эта проверка показывает, что в данном случае критерий для необходимого контактного давления по отношению номинального тока необходим, но не достаточен. Требования для контактного давления, гарантирующего малого контактного сопротивления оказывается в 3-4 раза больше критерия для допустимого нагревания контактной системы при протекании номинального тока.

2. Определение минимального диаметра подвижного контакта

Минимальный диаметр подвижного контакта проверяется по нагреванию из номинального тока.

Диаметр пальца определяется по [2]

$$d = 3 \sqrt{\frac{4 \cdot I_n \cdot \rho \cdot (1 + \alpha \cdot \theta) \cdot \kappa_\theta}{\pi^2 \cdot k \cdot (\theta - \theta_0)}} \quad (3)$$

где

I_n - номинальный ток, А

θ_0 - температура окружающей среды, °K

θ - температура контактного соединения, °K

ρ - специфическое сопротивление

α - температурный коэффициент специфического сопротивления

k - коэффициент на теплоотдачи

κ_θ - коэффициент добавочных потерь при переменном токе.

Определение коэффициентов [3 и 4]

- Коэффициент теплоотдачи

$$k = 10 \cdot k_1 \cdot (1 + k_2 \cdot 10^{-2} \cdot \theta) = 10 \cdot 1,95 \cdot (1 + 1 \cdot 10^{-2} \cdot 60) = 29,6 \quad (4)$$

k_1 и k_2 – зависят от диаметра пальца [4]

- Коэффициент добавочных потерь κ_θ , отчитывает поверхностного эффекта k_n и близость k_θ :

$$k_\theta = k_n \cdot k_\theta$$

Коэффициент близости $k_\theta = 1$, и κ_θ вычисляется в зависимости от частота переменного тока и сопротивления

$$\sqrt{\frac{f}{R_{100}}} = \sqrt{\frac{50}{3.3125}} = 2,13, \text{ которому соответствует}$$

$$k_n = 1$$

Так:

$$k_\theta = k_n = 1$$

Минимальные диаметры подвижных контактов (пальцев) следующие:

Для тока 250А

$$d = 3 \sqrt{\frac{4 \cdot 250^2 \cdot 7,2 \cdot 10^{-8} \cdot (1 + 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 330) \cdot 1}{\pi^2 \cdot 29,6 \cdot 30}} = 14,52 \text{ mm} \quad (5)$$

$$\text{Для тока 400А } d = 19,86 \text{ mm} \quad (6)$$

3. Ток сваривания контактов

Ток сваривания контактов является критерием для состояния контактной системы при коротких замыканиях.

Вычислен по формуле Буткевича, предложенной в [3]

$$I_{зав} = 0,32 \cdot k \cdot \sqrt{F_k} \cdot 10^{-3}, \text{ kA} \quad (7)$$

где F_k - контактная сила, N

Коэффициент $k = 6000$ для конт. соединения Медь-Медь

$k = 5500$ для конт. соединения Медь-Латунь

Вычисленные значения, которые лимитируют максимальные токи, которые могут возникнуть (напр. при к.з.) вычисляются при определенной контактной силе в т.1.1 и разном числе пластин (табл.3).

Таблица 3

Номинальный ток Ш.С., А	Ток сваривания в кА при число пластин (из меди)				
	4	6	8	10	12
250	23,51	28,80	33,25	37,18	40,73
400	29,74	36,43	42,06	47,03	51,52

Максимальные токи при трехфазных к.з., на клеммах трансформаторов использованные в шахтах следующие: 6/1кV и мощность до 1600кVA; - 14,72кА; для напряжения 6/0,69кV сухие с мощностью 1600кVA – 22,34кА, КТПВ 6/0,69 – 630кVA – 15,08кА, для трансформаторов 6/0,4кV с мощностью 1600кVA – 38,53кА.

Следовательно, минимальное необходимое число пластин в розетковом контакте должно быть 12, так как токи сваривания больше возможных максимальных значений токов при коротких замыканиях.

4. Вычисление термической устойчивости в режиме короткого замыкания

Максимальный ток термической устойчивости при коротких замыканиях определяется по 1s тока, респективно плотности ($j^2.t$), отчитывая допустимую максимальную температуру контактного соединения и токоведущих частей: для меди и латуни – 300°C [5].

Используя номограмму в [2] при $\theta = 300^\circ C$, определяются максимально допустимые плотности тока.

Для латуни $\rightarrow j^2.t = 0,8 \cdot 10^{16} \frac{A^2 s}{m^4}$ (8)

Для меди $\rightarrow j^2.t = 3,7 \cdot 10^{16} \frac{A^2 s}{m^4}$

Откуда можно вычислить токи для штепсельного соединения 250 и 400А с геом.размерами сообразные с вычисленными т.2, при чем приняты

Для 250А d=16mm L=40mm
 Для 400А d=20mm L=50mm

Использована формула

$I_i^{(1)} = \sqrt{(j^2.t)(\pi dL)^2}$ (9)

а результаты вычислений представлены в табл.4

Таблица 4

Ток Ш.С, А	Ток термической устойчивости для 1s при т.к.з в кА в зависимости от материала контактной системы	
	Латунь	Медь
250	179,4	386,5
400	280,3	603,9

Сделанные вычисления лимитировали конструктивные размеры контактного соединения.

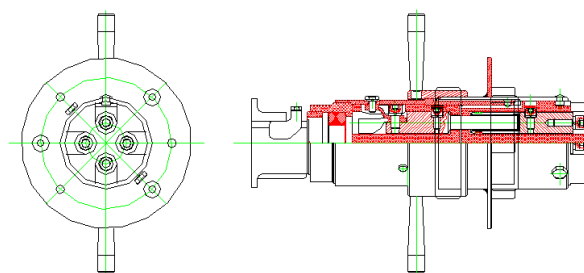
Конструкция

Конструкция штепсельного соединения СМ 250 показана на сборном чертеже на фиг.1.

В одном конце (правая часть чертежа) находится стационарная, неподвижная часть, которая фланцем фиксируется к стенке машины (оболочки). В этой части находятся гнезда – 4шт. К вынимаемой части (в лево), кабельным входом присоединяется кабель. Конструкция позволяет присоединение гибкого кабеля 3x70+35. Штифты (пальцы), которые входят в гнезда – 4шт., при чем 1 из них, заземительный, с большей длиной. Так заземление при включении осуществляется опережающее (по отношению трех фаз), а прекращается после отделения фаз. Что бы облегчить усилия при включении и выключении предусмотрена стальная рукоятка.

Кабель защищен от вырывания скобой, которая прижимает его к стене кабельного входа.

Максимальные размеры СМ 250 - 390X302mm, а его вескг.



Фиг.1

На фиг. 2 показан штепсельный соединитель к оболочке автоматического выключателя, с степенью защиты IP54.



Фиг.2

Испытания

Сделанный опытный образец был подвергнут полным типовым испытаниям в лаборатории по Электрическим аппаратам в Горно-геологическом университете “Св.Иван Рилски”, г.София, согласно требованиям БДС 6142-81 и БДС 11623-83.

Результаты измерений падения напряжения в штепсельном соединителе в холодном состоянии (24оС) и в теплом состоянии (40оС) при номинальном токе 250А показаны в таблице 5.

Таблица 5

Состояние	Фаза, U		Фаза, V		Фаза, W		PE	
	I, A	U, mV	I, A	U, mV	I, A	U, mV	I, A	U, mV
Холодное состояние $t_k = 24^{\circ}C$	250	19	250	19	250	19	250	18
Теплое состояние $t_k = 40^{\circ}C$	250	20	250	20	250	20	250	19

Измерения в холодном состоянии сделаны после темперирования соединителя в течении 24 часов.

Измерения в теплом состоянии сделаны при достижении установленной температуры (40оС) в течении 6 часов, под действием номинального тока – 250А / фаза. При таком же токе измерено и штепсельное соединение для цепи предохранительного (PE) провода.

Измерения показали полную симетрию в падениях напряжения трех фаз, и несколько меньших значений в PE – соединении (с 5,3%), что является результатом его большей контактной площади (подвижный контакт более длинный).

По данным из измерений вычислено и контактное сопротивление в холодном и теплом состоянии четырех соединений (табл.6).

Препоръчана за публикуване от
Редакционен съвет

Таблица 6

	Контактное сопротивление, $\mu\Omega$			
	Фаза, U	Фаза, V	Фаза, W	PE
Холодное состояние $t_k = 24^{\circ}C$	76	76	76	72
Теплое состояние $t_k = 40^{\circ}C$	80	80	80	76

Эксплуатационные качества

Разработанные и введенные в производство штепсельные соединители СМ250 показали очень хорошие эксплуатационные качества. В Челопеч Майнинг ЕАД эксплуатируются успешно десятки соединители СМ250, некоторые из них более 5 лет, вполне беспроблемно.

Литература

Пенчев Ив. Електрически апарати, Техника С, 1982г.;
 Драгомиров Т., Ив. Янчев. Електрически апарати за високо напрежение, ИК "ICON" С, 1994г.;
 Буль Б.К, Буткевич Г.В и др. Основы теории электрических аппаратов. М, 1970г.;
 Буткевич Г.В, В.Г. Дегтярь, а.Г. Сливинская. Задачник по электрическим аппаратам. "Высшая школа" М., 1987г.;
 ИЕС309-1;
 БДС 11623-83;
 Технически архив СМС-С ЩС.ХХ.ХХ.ХХ. 1999 – 2005г.

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ НА ПЕТПРОВОДИНТЕ СИСТЕМИ С ИЗОЛИРАНА НЕУТРАЛА (IT) В МИНИТЕ

Стефан Чобанов¹, Менто Ментешев²

¹ СМС-С ЕООД, 2070 Пирдоп

² СМС-С ЕООД, 2070 Пирдоп

РЕЗЮМЕ: Дискутира се идея за приложение на петпроводна IT система (с изолирана неутрала) за електрическите мрежи в подземните и в откритите рудници. Анализират се нейните качества на фона на прилаганата трифазна (3P+PE) IT система с изолирана неутрала.

POSSIBILITIES FOR APPLICATION OF FIVE-CONDUCTING SYSTEMS WITH INSULATED NEUTRAL (IT) IN MINES

Stefan Chobanov¹, Mento Menteshhev²

¹ СМС-С Electrical engineering

² СМС-С Electrical engineering

ABSTRACT. There is discussed an idea for implementation of five conducting IT system (with insulated neutral) for power networks in the underground mines and open pits. Its qualities are analyzed on the background of the applied three phase (3P+PE) IT system with insulated neutral.

Заземените системи TN-C 3P+PEN и TN-S 3P+N+PE позволяват да се включат потребители на линейно напрежение (основно триполюсни) и на фазно напрежение (еднофазни). Това техническо предимство е особено полезно в най-широко разпространените мрежи в Европа, с линейно напрежение 380V. Към тях удобно се присъединяват еднофазни консуматори с напрежение 220V (осветление, ръчни ел. инструменти, битова техника и др.).

Много съществено предимство на заземената (3P+N+PE) TN система е възможността да се осъществи чувствителна и селективна защита от токови утечки, както за трифазните, така и за еднофазните потребители.

Въпреки посочените предимства на системите със заземена неутрала и особено на петпроводната TN-S, те са тотално и категорично отречени (с малки изключения) за мините. В България тя е забранена за използване в подземните рудници [3, 5], а при определени условия се допуска в откритите рудници [4] и в геологопроучвателните обекти [6].

Основната причина са значителните по големина токове на утечка (10^0 - 10^1)A, лесно преминаващи в мощни еднофазни къси съединения (10^2 A, 10^3 W). С много голяма вероятност ($p \approx 1$) те надхвърлят в степени минималните токове, мощности и енергии, които могат да предизвикат експлозии на метановъздушна ($5 \div 15\%$ CH₄) и праховъздушна (аерозолно - $35 \div 2000$ g/m³) във въглищните рудници ($I_{min} = 10^{-2}$ A; $W_{min} = 10^{-3}$ J) и пожари дори и в невзривопасни рудници ($I_{m_{in}} = 10^{-1}$ A; $P_{min} = 10^1$ W) [1,2].

Втора причина и съществен недостатък на заземените (TN и TT) системи е, че при еднополюсен директен допир (към фазен проводник), човек попада под напрежение близко или равна на фазното, което е безусловно опасно в използваните в мините трифазни мрежи 380, 500, 660, 1000, 1140V.

Това са основните мотиви, които определят еднозначният избор на IT системата с изолирана неутрала в подземните рудници [2,3,5] и макар нееднозначен, но предпочитан избор, в откритите рудници [4].

Коректно е да се отбележи, че системите с изолирана неутрала (IT) се прилагат и в геологопроучвателни обекти [6], а и в други съществено различаващи се условия като при електрообзавеждането на кораби, в хирургични зали и др. [10].

Съществено е да се подчертае, че в минната промишленост защитното изключване задължително се комбинира със защитното заземяване, като работата в режим на еднофазно з.с. в IT система е недопустима. Съображенията се базират на голямата вероятност да се осъществи директен еднополюсен или индиректен допир към линейното напрежение при докосване на една от здравните фази. В други отрасли, режимът на еднофазни з.с. е не само допустим, но се сочи като предимство на IT системата (спрямо TN), по отношение на надеждност, тъй като при е.з.с. потребителите продължават да работят нормално [7, 10].

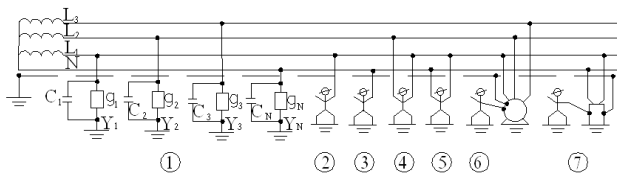
Не разполагаме с данни за приложение на петпроводната IT система (3P+N+PE) в подземните рудници. Използва се само трифазна 3P+PE система, с линейни напрежения 380; 500; 660; 1000; 1440V. При необходимост от по-ниски напрежения за осветление, сигнализация, ръчни електрически инструменти (127, 220V), се използват еднофазни или трифазни трансформатори със съответната пусково-предпазна апаратура.

През 2001г. в Асарел Медет АД е доставен напoбoобразовател VASP 1200 от фирма Voest Alpine обзаведен с петпроводна IT система – напрежения 380/220V със защитно изключване, предпазващо от индиректен допир [9]. Бързодействието на защита (6s), не отговаря на изискванията на БДС 10880-83, който ограничава собственото време на задействане до 0,1S, гарантирайки и защита от директен допир [8].

Анализ на електробезопасността

Електробезопасните качества на петпроводната IT система с изолирана спрямо земя неутрала се анализират по схемата на фиг. 1 при следните възприети допускания и априорно възприети стойности и величини [1,2].

- Реалната мрежа се замества с еквивалентна схема, характеризираща се със съсредоточност и линейност на изолаторните проводимости и пренебрегване импеданса на тоководещите кабелни жила.
- Критерии за оценка са ефективните стойности на напреженията и тока.
- Съпротивлението на човешкото тяло е активно, линейното със стойност, в условията на подземните рудници, $R_h=600\Omega$.



Фиг.1

Напрежението на звездният център, съответно на N проводника \dot{U}_N , зависи от фазните напрежения $U_1, U_2,$

U_3 и проводимостите спрямо земя Y_1, Y_2, Y_3 и Y_N . В общия случай

$$\dot{U}_N = \frac{\dot{U}_1 Y_1 + \dot{U}_2 Y_2 + \dot{U}_3 Y_3}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_N} \quad (1)$$

а ако $|\dot{U}_1| = |\dot{U}_2| = |\dot{U}_3| = U$, при симетрия на напреженията

$$U_N = U \frac{Y_1 + a^2 Y_2 + a Y_3}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_N}, \quad (2)$$

а при симетрия и на проводимостите Y_i

$$U_N = 0$$

При възникване на утечки в отделните фази, например във фаза L_1 , g_{y1} , напрежението на звездния център ще бъде:

$$\dot{U}_{Ny1} = \frac{\dot{U}_1(Y_1 + g_{y1}) + \dot{U}_2 Y_2 + \dot{U}_3 Y_3}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_N + g_{y1}} \quad (3)$$

Тока на еднофазна утечка, отчитайки (3) е:

за L1

$$\dot{i}_{y1} = \dot{U}_{Ny1} g_{y1} = \left(\dot{U}_1 - \dot{U}_{Ny1} \right) g_{y1} = \left[\dot{U}_1 - \frac{\dot{U}_1(Y_1 + g_{y1}) + \dot{U}_2 Y_2 + \dot{U}_3 Y_3}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_N + g_{y1}} \right] g_{y1} \quad (4)$$

а при утечка в неутралния проводник N:

$$\dot{i}_{yN} = \dot{U}_N g_{yN}$$

При симетрия във фазните напрежения \dot{U}_i и проводимостите Y_i трите фази спрямо земя на напрежението на звездният център спрямо земя е 0, и токът на утечка от N проводника ще бъде 0.

$$I_{yN} = \dot{U}_N g_{yN} = 0 \quad (5)$$

Ако N проводника се заземява директно, т.е. $g_{yN} \rightarrow \infty$, системата се превръща в заземена, с всички произтичащи за нея, позитиви и негативи.

При възникване на утечки в две от фазите $U_N \neq 0$

Например, ако в L_1 и L_2 възникнат утечки g_{y1} и g_{y2} , напрежението на звездния център ще бъде

$$\dot{U}_{Ny1,2} = \frac{\dot{U}_1(Y_1 + g_{y1}) + \dot{U}_2(Y_2 + g_{y2}) + \dot{U}_3 Y_3}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_N + g_{y1} + g_{y2}} \quad (6)$$

като токовете на утечки от двете фази ще бъдат:

$$\text{от } L_1 \quad \dot{i}'_{y1,2} = (U_1 - U_{Ny1,2}) g_{y1} \quad (7)$$

$$\text{от } L_2 \quad \dot{i}''_{y1,2} = (U_2 - U_{Ny1,2}) g_{y2} \quad (8)$$

и общо

$$\dot{i}_{y1,2} = \dot{i}'_{y1,2} + \dot{i}''_{y1,2} \quad (9)$$

Сравнявайки изразите за токовете на утечка, с тези отнасящи се за 3P+PE IT системата [1], се откроява влиянието на проводимостта на N проводника - Y_N .

Степента на това влияние зависи от отношението

$$\frac{Y_N}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + g_{yi}} \quad (10)$$

Важно е да се подчертае, че ток на утечка към земя от нулевия проводник е възможен при асиметрия в напреженията, независимо от причината, която ги е породила.

Токовете на утечка и мощността, която разсейват, са от съществено значение за инициране на експлозии и пожари. За различните случаи мощността се определя по уравнението

$$P_y = \frac{|\dot{I}_{y1}|^2}{g_{y1}} \quad (11)$$

Пряката опасност за хората от токов удар възниква (фиг. 1) при директен еднополюсен 2, 3 при директен двуполусен допир 4,5, и при индиректен допир 6 и 7.

При директен еднополюсен допир до фазов проводник случай 2, човек попада под напрежение

$$\dot{U}_h = \dot{U}_1 - \dot{U}_N = \dot{U}_1 - \frac{\dot{U}_1(Y_1 + g_h) + \dot{U}_2 Y_2 + \dot{U}_3 Y_3}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_N + g_h}, \quad (12)$$

а през него ще протече ток

$$\dot{I}_h = \dot{I}_h g_h = \left(\dot{U}_1 - \frac{\dot{U}_1(Y_1 + g_h) + \dot{U}_2 Y_2 + \dot{U}_3 Y_3}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_N + g_h} \right) 1,67 \cdot 10^{-6}, mA \quad (13)$$

където, проводимостта на човека спрямо земя е приета

$$g_h = \frac{1}{R_h} = \frac{1}{600} = 1,67 \cdot 10^{-3} S$$

При директен еднополюсен допир към нулевия проводник N (случай 3) през човека ще протече ток, само при асиметрия в напреженията.

Ако асиметрията на напреженията спрямо земя е резултат на асиметрия в изолационното съпротивление, например еднофазна или двуфазна утечка токът през човека ще се определи

$$\dot{I}_h = U_N g_h = 1,67 \cdot 10^{-3} \dot{U}_N, A \quad (14)$$

където \dot{U}_N се определя, например по (3) или (6)

Освен при асиметрия в напрежението, N проводникът може да получи потенциал, при асиметричен товар в трифазна система. В този случай през N проводника протича ток

$$\dot{I}_N = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 \neq 0 \quad (15)$$

а потенциала на нулевия проводник, зависи от отдалечеността L_x от звездния център.

$$|\Delta \dot{U}_N| = |\dot{I}_N| r_0 L_x \quad (16)$$

като може да достигне и опасни стойности $>24V$

Токът през човека ще бъде

$$I_h = 1,67 \cdot 10^{-3} |\dot{I}_N| r_0 L_x \cdot 10^3 = 1,67 |\dot{I}_N| r_0 L_x, mA \quad (17)$$

където r_0 е съпротивление на кабела с дадено сечение при $L_x=1m$.

При двуполусен допир между двете фази 4, фиг.1, ситуацията е безусловно опасна, защото тока през човека се определя от линейно напрежение.

$$I_h = U_{\wedge} \cdot g_h = 1,67 \cdot U_{\wedge}, mA \quad (18)$$

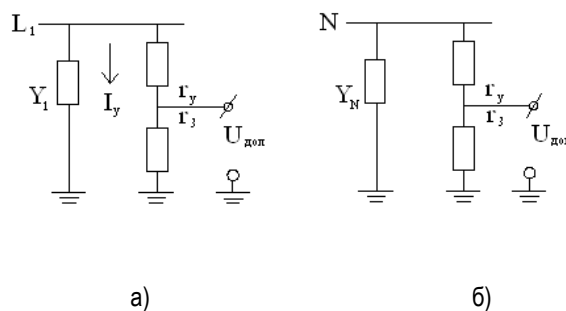
на пример при $U_{\wedge} = 380V$: $I_h = 635mA \gg I_{дон} = 25mA AC$

При допир към фазното напрежение (случай 5), опасността е не-по-малка.

$$I_h = U_{\phi} g_h = 1,67 \cdot 10^{-6} U_{\phi} \quad (19)$$

при 220V $I_h = 1,67 \cdot 220 = 367,4mA \gg 25mA AC$

При индиректен допир, към корпус на трифазен консуматор (случай 6), напрежението на което попада човек се определя по заместващата схема (фиг. 2а), в която пробив в изолацията на двигателя е към фаза L1, през съпротивление r_y , а корпусът е заземен през съпротивление r_3 . Съпротивлението на заземяване при изправна зазем. мрежа е $r_3 \leq 2\Omega$, но при прекъснатата верига на зазем. мрежа или недобра контактна връзка $r_3 > 2\Omega$. Ако връзката е прекъсната, остава съпротивлението на естественото заземяване на машината, при което е възможно $r_3 \gg 2\Omega$.



Фиг.2

Допирно напрежение

$$\dot{U}_{дон} = \dot{I}_y r_3 = \left(\dot{U}_1 + \dot{U}_{N1} \right) g_e r_3 = \left(\dot{U}_1 + \dot{U}_{N1} \right) \frac{r_3 + r_y}{r_y} \quad (20)$$

където g_e да е еквивалентна проводимост на утечката в двигателя към земя \dot{I}_y :

$$g_e = \frac{r_3 + r_y}{r_3 \cdot r_y}$$

$$a \dot{U}_{N1} = \frac{\dot{U}_1(Y_1 + g_e) + \dot{U}_2 Y_2 + \dot{U}_3 Y_3}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_N + g_e}$$

При индиректен допир към корпус на еднофазен консуматор (случая 7), напрежението на което попада човек, при утечка от L_i и с превключване на веригата на консуматора към N, се определя по зависимост аналогична на (20). Когато утечката е от N проводника и прекъсване към фазите (L_i), допирното напрежение се определя по фиг. 2.б.

$$\dot{U}_{дон} = \dot{U}_N g_e r_3 \quad (21)$$

където:

$$g_e = \frac{r_3 + r_y}{r_3 r_y}$$

$$a \dot{U}_N = \frac{\dot{U}_1 Y_1 + \dot{U}_2 Y_2 + \dot{U}_3 Y_3}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_N + g_e} \quad (22)$$

е определен при симетрия в товарите, т.е. $I_N \approx 0$

При значителна асиметрия в товарите ($I_N \neq 0$).

Напрежението на неутралния проводник се определя по

$$\dot{U}_N = \frac{\dot{U}_1 Y_1 + \dot{U}_2 Y_2 + \dot{U}_3 Y_3}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_N + g_e} + \left(\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 \right) r_0 L_x \quad (23)$$

където \dot{I}_1 , \dot{I}_2 и \dot{I}_3 са токове в трифазните проводници L_1 , L_2 и L_3 .

Получените зависимости за допирните напрежения към корпусите както при трифазните, така и при еднофазните консуматори, потвърждават минимален риск, когато са заземени ($r_3 \ll 2\Omega$). Степента на риска при прекъснат PE проводник, когато се разчита на естественото заземяване на машините може да се отчете по получените по-горе зависимости (20)(21)(22)(23).

Общото заключение от анализа на електробезопасните качества на (3P+N+PE) IT система е, че те са съхранени спрямо масова използваната (3P+PE) IT мрежа със синусоидално напрежение.

Необходим е обаче анализ за мрежи съдържащи висши хармоници в напрежението и тока, аналогичен на изследването за (3P+PE) IT системи в [2]. Може да се прогнозира различия, от протичането на съставни хармоници кратни на 3 през N проводника, които отсъстват в трипроводната мрежа с изолирана неутрала [2].

Основните предимства на петпроводната (3P+N+PE) система с изолирана неутрала спрямо земя са:

А. В сравнение заземената (3P+N+PE) TN-S система

- Малки токове на утечка, лимитиращи малка мощност и енергия в режим на еднофазно земно съединение. Това гарантира значително по-малка вероятност за

възникване на експлозии в рудници опасни по газ и прах и за възникване на пожари;

- При еднополюсен допир на човек, токът през него се ограничава от изоляционното състояние на мрежата. При достатъчно голямо съпротивление на изоляцията на другите две фази, което се контролира, токът през човека може да има безопасни стойности (10-3 A);
- Малките токове на утечка предпоставят малки напрежения на корпусите на машините, при дефект в изоляцията, т.е. малки напрежения при индиректен допир. Този ефект се гарантира в още по-голяма степен от изискването за максимално съпротивление на заземителната мрежа - 2Ω [3, 4,5].

Б. В сравнение изолираната (3P+PE) IT система

- Наличие на две напрежения линейно и фазно;
- Опростено присъединяване на релетата от утечки (към N, без трифазни филтри);
- Възможност за създаване на хибридна селективна защита от утечки от конвенционално реле, контролиращо изоляционното съпротивление и използване на релета реагиращи на токовете с нулева последователност при асиметрия спрямо земя
- Отпадане на необходимостта от еднофазни трансформатори 220V (за осветление, ръчни инструменти и др.) в най-разпространените руднични мрежи в България с напрежение 380V. Това ще даде възможност за масово използване на голямото разнообразие на ръчни инструменти, което съществено ще облекчи работата на техн.персонал по експлоатацията на машините и съоръженията.

Недостатъците на петпроводната IT система (3P+N+PE) са:

В. В сравнение със заземената (3P+N+PE) TN-S система:

- Невъзможност за изграждане на защита от утечки със хоризонтална и вертикална селективност;
- Максималнотоковата защита не реагира на еднофазни земни съединения, но задължително трябва да бъде с три елемента

Г. В сравнение с изолираната (3P+PE) IT система:

- Проблеми граничещи с необходимост от 5-ти проводник в силовите кабели (за N проводниците) и произтичащите от това по-голямо тегло и цена
- Проблемите с неселективността на защитата от утечки се задълбочават с включването и на еднофазни консуматори в мрежата
- При неравномерно разпределение на еднофазните потребители към трите фази, е възможна несиметрия в напреженията

Практическите проблеми, които трябва да бъдат преодолени за въвеждането на петпроводната IT система в мините са свързани преди всичко с необходимостта от петжилни кабели със структура на сеченията $3xS_1+2xS_2$, където S_1 са сечението на силовите жила, а S_2 сечението на предпазния и нулевия проводник. Кабелите с такава структура, подходящи за мините не се предлагат. Произвеждат се от типа $3xS_1+1xS_2$. По настоящем съществуват две алтернативни възможности.

- Използване на допълнителен едножилен кабел със сечение $1 \times S_2$. Измененията на Наредбата за устройство на електрическите уредби и електропроводни линии от 2007г. [7] допускат използването на допълнителен единичен проводник $1 \times S_1$ като пети към произвежданите четирижилни кабели $3 \times S_1 + 1 \times S_2$.
- Използване на петжилен кабел с еднакво сечение на жилата $-5S_1$, определено от електрическия товар към него.

И двата варианта водят до нарастване на цената на кабела в сравнение с цената на кабел с конструкция $3 \times S_1 + 2 \times S_2$, каквито в момента не се произвеждат

Икономическата ефективност от приложението на петпроводната IT мрежа (3P+N+PE) 0,4kV трябва да се оцени чрез съпоставяне на спестените средства от трансформатори и агрегати за 220V и повишените разходи за кабели от необходимото допълнително жило.

Експертно, приблизително, изчисление за рудник с кабелна мрежа 1500m. и цената на кабелите 75 000лв., поскъпването ще бъде с 14% - т.е. 10 500лв. При 7 трансформатора и агрегати за 220V – ще се спести инвестиция около 8400, към които би трябвало да се прибави спестена енергия от трансформация 380/220V, около 25000kWh годишно.

Към това почти равновесно съотношение на приходи и разходи, трябва да се прибавят значителните технически предимства: отпада инсталирането и поддръжката на т-ри 380/220V; във всички зони на рудника може да се ползва 220V за осветление, ръчни ел.инструменти, електрожени и т.н.; облекчава се труда на експлоатационния персонал и се съкращава времето за монтаж и ремонт, което има също парично измерение.

Анализираните качества на петпроводната IT система (3P+N+PE) позволяват да се направят следните основни изводи, валидни за мрежа 380/220V.

1. Системата притежава необходимите безопасни качества за прилагане в мините, без да нарушава изискванията на Правилниците по безопасност по отношение на електрическите уредби.
2. Съществено предимство е възможността да се използват две напрежения във всички зони на рудника, което дава

многогранни удобства за експлоатационния персонал – облекчение на тежкия труд с масово прилагане на широк спектър конвенционални ръчни инструменти, източници на светлина, електрожени и др., машини за огъване минни лебедки и телфери и др.

3. Прогнозира се намаляване на продължителността на престойте за извършване на ремонтно дейности както в подготвителния така и в стадия на изпълнение.

Цялостната оценка за приложимостта на петпроводната IT система в мините изисква изследване на поведението и качествата и в мрежи съдържащи висши хармоници, чиито приложение нараства, на проблемите свързани с възможността за използване на селективни защиты, както и по-детайлна икономическа оценка. Това ще бъде обект на бъдещи анализи.

Литература:

- Данков Е. Електроснабдяване на минните предприятия. с.Техника, 1991.;
- Ментешев М. Безопасно използване на електрическата енергия и контрол на изолацията в рудничните електрически мрежи за ниско напрежение. Дис. за пол. н.ст.д.т.н. МГУ, София, 1986.;
- Правилник по безопасност на труда при разработване на въглищни находища по подземен начин, Техника, С., 1971;
- Правилник по безопасност на труда при разработване на полезни изкопаеми по открит начин. Техника, С., 1982;
- Правилник по безопасност на труда при разработване на рудни и нерудни находища по подземен начин. Техника, С., 1996
- Правилник по безопасност на труда при геологопроучвателни работи, Техника, С., 1996
- Наредба №3 за устройство на електрическите уредби и електропроводните линии, МЕ,С., 2004
- БДС 10880-83. Съоръжения електрически руднични. Апарати за защита от токовете на утечка за мрежи с напрежение до 1200V с изолиран звезден център. Технически изисквания и методи за изпитване.
- Въвеждане на защиты от утечки в мрежите 380 и 220V в електрическата уредба на Насипообразователя VASP 1200 "Асарел Медет". Архив СМС-С, 2002
- Hofheinz W. Protective Measures with Insulation Monitoring. VDE Verlag. Berlin, Offenbach, 2000

Препоръчана за публикуване от
Редакционен съвет

ЕНЕРГЕТИКА НА АСИНХРОННИ РЕГУЛИРУЕМИ ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯ – МОДЕЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ В MATLAB/SIMULINK СРЕДА

Георги Георгиев¹, Владимир Христов², Румен Райнов³

¹ Технически университет София, 1797 София, E-mail: gig@abv.bg

² Технически университет София, 1797 София, E-mail: vdh@abv.bg

³ Технически университет София, 1797 София, E-mail: rrainov@tu-sofia.bg

РЕЗЮМЕ. Оценка за ефективността от внедряването на регулируеми електрозадвигвания е възможна или след като се закупи и внедри даден тип преобразувател, или още в предварителния етап на избор на закона за управление и типа на преобразувателя. В доклада се излагат резултати от изследване на такъв клас електрозадвигвания чрез модели, към които са добавени блокове за оценка на мощности и енергии в отделните елементи на електрозадвигването. Това позволява да се сравняват и оценяват качествата на различни по тип закони на управление и принципи на изграждане на регулируеми електрозадвигвания.

Посредством получените данни от моделните изследвания се оценяват консумираната активна енергия от мрежата, полезната мощност, загубите на мощност и коефициента на полезно действие на електрозадвигването

THE POWER SYSTEM OF ASYNCHRONOUS ADJUSTABLE ELECTRICAL DRIVES – MODEL INVESTIGATIONS IN MATLAB/SIMULINK MEDIA

Georgi Georgiev¹, Vladimir Hristov², Rumen Rainov³

¹ Technical university of Sofia, 1797 Sofia, e-mail gig@abv.bg

² Technical university of Sofia, 1797 Sofia, e-mail : vdh@abv.bg

³ Technical university of Sofia, 1797 Sofia, e-mail : rrainov@tu-sofia.bg

ABSTRACT. The rating about the effectiveness from the performance of adjustable electric drive is possible and after by as is bought and the transformer integrated offered type, or in the preliminary stage to choice to the statute of administration and the type to the transformer. The results from the exploration at such class electric drive by the models are exposed in the report, to that the blocks are added on for estimate to powers and energies with the separate components to the electric drives. This permits to be compared and they appreciate the qualities of laws, that are different by type, of operation and principles of construction of adjustable electric drive. By means of the received data from the models explorations, will be appreciate the consumed live energy from the infinity bus, the useful power, power energy indexes, and power factor.

1. Въведение

Общоприето е оценка за енергийната ефективност на работа на електрозадвигванията да се дава чрез коефициента на полезно действие (КПД) η , дефиниран като :

$$\eta = \frac{P_{\text{изх}}}{P_{\text{ех}}}, \quad (1)$$

където $P_{\text{ех}}$ е консумираната мощност от електрозадвигването, а $P_{\text{изх}}$ е полезната мощност, отдавана на вала на задвижващия двигател. Тези две мощности се различават една от друга с мощността на загубите $\Delta P = P_{\text{ех}} - P_{\text{изх}}$ в двигателя и съответния преобразувател, ако има такъв. Тази оценка е твърде нагледна, но е справедлива само ако процеса на работа на електрозадвигването е неизменен във времето. Реално, в болшинството случаи, това не е така, тъй като при работата на електрозадвигването се наблюдават процеси на пускане, спиране, работа с променящо се натоварване и др. Тогава чрез КПД не може да се оцени реалния разход, загубите и полезната енергия, което за потребителя е много важно. Поради това, в тези случаи е целесъобразно да се използва като по-удобен и

информативен показател КПД, дефиниран като отношение на енергии – консумирани и изразходвани за определено време t :

$$\eta_t = \frac{E_{\text{изх}}}{E_{\text{ех}}}, \quad (2)$$

където:

$E_{\text{ех}} = \int_0^t P_{\text{ех}}(t) dt$ е консумираната енергия, а

$E_{\text{изх}} = \int_0^t P_{\text{изх}}(t) dt$ енергията употребена за извършване на полезна работа от електрозадвигването.

Тези две форми за енергийна оценка се доближават една към друга колкото е по голяма абсолютната стойност на времето за оценка t , като ще съвпадат напълно когато $t \rightarrow \infty$.

В доклада се предлага възможност за получаване на тези оценки на базата на изследвания за регулируеми асинхронни електрозадвижвания върху модели на такива в средата на Matlab/Simulink. Направените изследвания, позволяват да се оптимизират в енергиен аспект работата на електрозадвижването.

2. Енергийни изследвания на асинхронно електрозадвижване с регулиране на захранващото напрежение на статора

Обект на изследване е асинхронен двигател с накъсо съединен ротор, на който статора се захранва от източник на трифазно напрежение с регулируема големина при постоянна честота. В съставения модел са поставени измерители на консумираните от захранващия източник трифазна активна мощност P_{ex} и енергия E_{ex} . Механичната мощност $P_{мех}$, която се създава от двигателя при преобразуването на електрическата енергия в механична, се получава по изчислителен път от електромагнитния момент M на двигателя и ъгловата му скорост ω :

$$P_{мех} = M\omega \quad (3)$$

За да се получи полезната мощност $P_{уиз}$, която двигателя отдава на вала си, е нужно да се приспадат мощността на загуби от триене и вентилация $\Delta P_{тр}$ в двигателя и мощността на допълнителните загуби ΔP_{δ} от висши пространствени хармоници на магнитното поле. Тогава:

$$P_{уиз} = P_{мех} - (\Delta P_{тр} + \Delta P_{\delta}) = P_{мех} - \Delta P_n$$

Тук сумата ΔP_n от посочените загуби се отчита като процентна стойност от номиналната полезна мощност на двигателя P_N , като в изследвания случай са приети 5% от номиналната мощност на изследвания двигател (В. Ключев, 2001).

Направени са моделни изследвания за двигател с номинална мощност $P_N=2200$ W и номинална честота на върте-

не $n_N=1410$ tr/min при управление чрез изменение на захранващото напрежение.

Целта на изследванията е да се проследи влиянието на големината на захранващото напрежение върху:

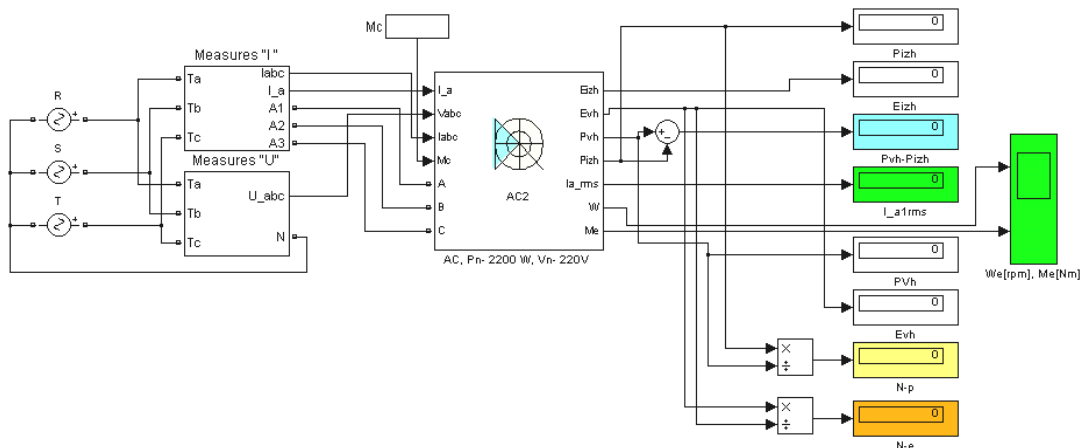
- консумираната мощност $P_{вх}$;
- тока I_1 в статора;
- сумарната мощност на загубите ΔP в двигателя.

На фиг. 1 е показан реализираният в Simulink модел на изследваното асинхронно електрозадвижване. В модела се измерват:

- консумираната от захранващия източник трифазна активна мощност P_{ex} (блок Pvh);
- консумираната от захранващия източник енергия E_{ex} (блок Evh);
- полезната мощност на изхода на задвижването $P_{уиз}$ (блок Pizh);
- енергията употребена за извършване на полезна работа от задвижването $E_{уиз}$ (блок Eizh);
- мощността на загуби в задвижването $\Delta P = P_{ex} - P_{уиз}$ (блок Pvh - Pizh);
- ефективна стойност на статорния ток I_1 (блок I_a1rms).

В модела е възможно задаване на товарния статичен момент M_c (блок Mc).

От измерените данни могат да бъдат получени стойности на моментния КПД, изчислен по (1), който носи в себе си информация за установените режими на работа на задвижването, без да дава конкретика за енергийните разходи и степента на използване на консумираната енергия в отделните етапи на работа на задвижването (преходни процеси и установен режим на работа). Последното е възможно да се получи само, ако се оценява енергийния разход след определен интервал на работа на електрозадвижването. Тогава по (2) може да се получи информация за КПД като функция на времето на работа. Тук за база при проследяване на зависимостта на η_i от времето е прието времетраенето t_i на преходния процес при пускане при зададен статичен момент.



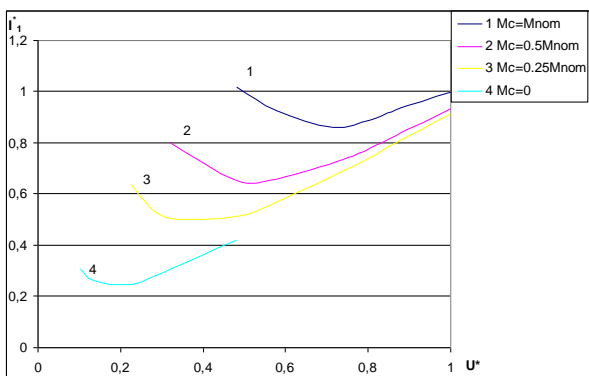
Фиг.1. Модел на регулируемо асинхронно електрозадвижване

- мощността на загубите от захранващото напрежение (фиг.3) $\Delta P = f(U^*)$;
- консумираната мощност от захранващото напрежение (фиг. 4) $P_{ex} = f(U^*)$;
- моментния КПД от захранващото напрежение (фиг. 5) $\eta = f(U^*)$;
- КПД след време на работа $t = 3t_n$ от захранващото напрежение (фиг. 6) $\eta_{t3} = f(U^*)$;
- КПД след време на работа $t = 7t_n$ от захранващото напрежение (фиг.7) $\eta_{t7} = f(U^*)$;
- КПД след време на работа $t = 10t_n$ от захранващото напрежение (фиг. 8) $\eta_{t10} = f(U^*)$;

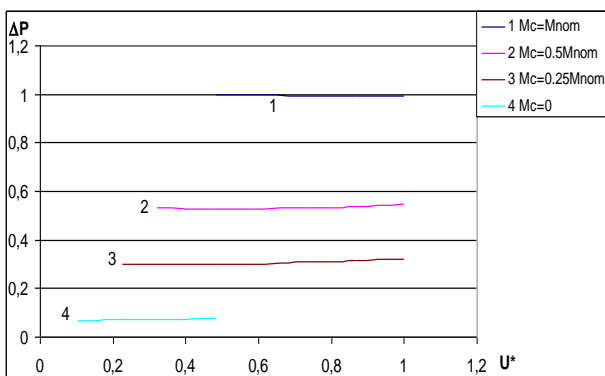
В тези зависимости за тока, напрежението и мощността се използват относителни стойности, като за базови величини са приети:

- номиналната стойност на тока в статора;
- номиналното фазно напрежение на двигателя;
- номиналната мощност на двигателя.

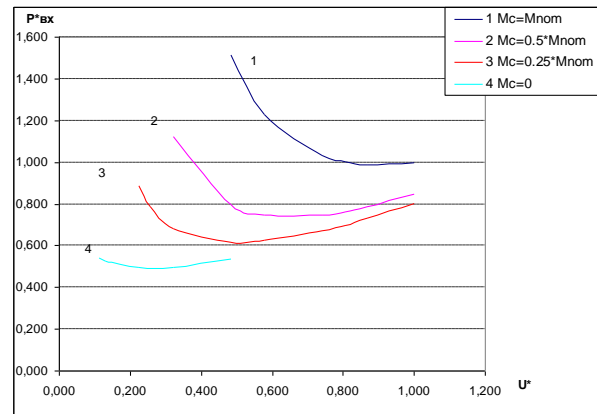
Всички тези зависимости са получени при вариране на товарния статичен момент M_c с четири дискретни стойности, посочени на съответните графики.



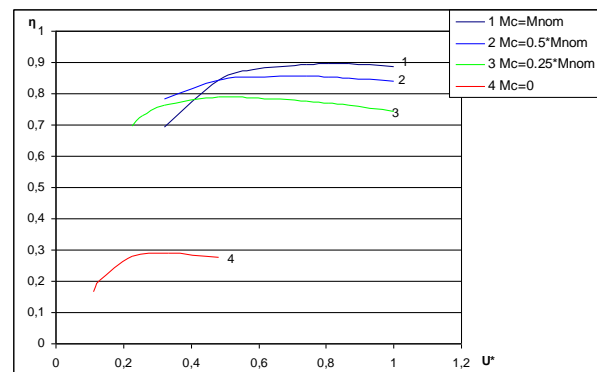
Фиг.2 Зависимостите $I^* = f(U^*)$, при различни стойности на съпротивителният момент



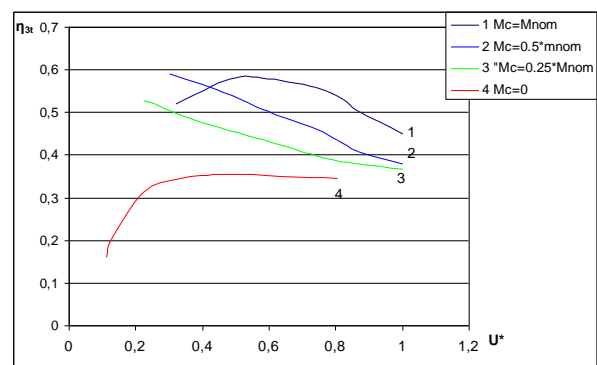
Фиг.3 Зависимостите $\Delta P = f(U^*)$, при различни стойности на съпротивителният момент



Фиг.4 Зависимостите $P_{ex} = f(U^*)$, при различни стойности на съпротивителният момент

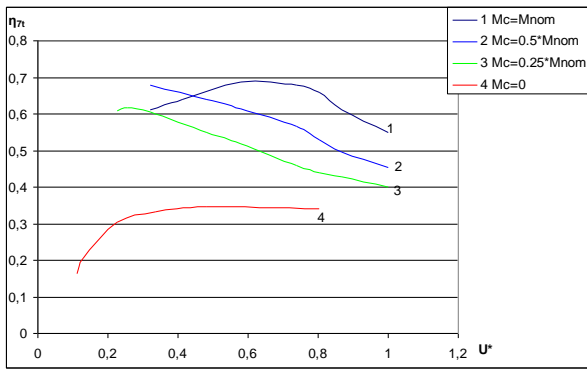


Фиг.5 Зависимостите $\eta = f(U^*)$, при различни стойности на съпротивителният момент

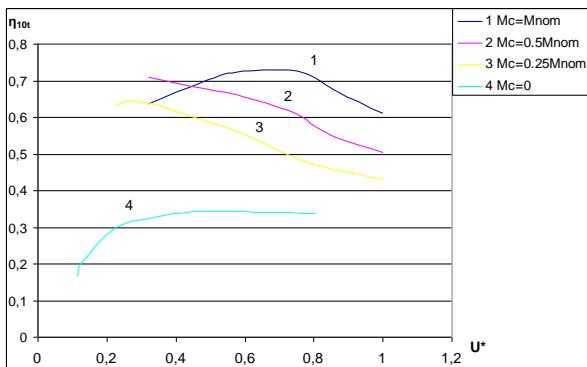


Фиг.6 Зависимостите $\eta_{t3} = f(U^*)$, при различни стойности на съпротивителният момент

Анализът на така получените зависимости показва, че чрез регулиране на захранващото напрежение е възможно да се постигат определени енергийни показатели на електрозадвижването, които да водят до минимизиране или на консумираната мощност, или на загубите в електрозадвижването или на тока в статора (фиг. 2, фиг.3 и фиг.4). Минимумът на тези показатели е свързан с конкретно натоварване, което показва, че изграждането на енергоефективно електрозадвижване е възможно само, ако се контролира това натоварване и системата за управление реагира на него.



Фиг.7 Зависимостите $\eta_{T7} = f(U^*)$, при различни стойности на съпротивителният момент



Фиг.8 Зависимостите $\eta_{T10} = f(U^*)$, при различни стойности на съпротивителният момент

Оценката на ефективността чрез коефициента на полезно действие трябва да отчита продължителността на работа на задвижването – виж фиг. 6, фиг.7 и фиг. 8(т.е. да си определя чрез енергиите), тъй като моментния КПД не носи информация за това, че освен установен режим на работа има и преходни режими в които се консумира енергия, която се изразходва за да се извърши съответната полезна и необходима работа от задвижването. Такава оценка е възможна да се извършва само чрез моментния

КПД (фиг. 5), ако съотношението между времето на работа и на продължителността на преходния процес е значително. В конкретните изследвания приемливи съотношение на тези времена са тези които надвишават 10 и повече пъти. При това трябва да се отчита конкретното натоварване на задвижването и големината на захранващото напрежение.

3. Заключение

Изложеният подход за енергийни изследвания може успешно да се използва и в случаите на управление на асинхронни задвижвания с конкретен тип преобразувател (параметричен в статора или ротора при двигатели с навит ротор, честотен и др.). В тези случаи е възможно да се даде оценка и за енергийните показатели на конкретния преобразувател, а от там да се прецени какъв преобразувател е целесъобразно да се използва при зададени условия на работа на електрозадвижването. Такъв тип изследвания стои като бъдеща задача пред авторите на доклада.¹

4. Литература

- Ключев, В.И. 2001. *Теория електропривода*. М., Энергоатомиздат, 697 с.
- Ильинский Н.Ф. 2003. *Основы електропривода*. М., Издателство МЭИ, 221 с.
- Ильинский Н.Ф., В.В. Москаленко 2008. *Електропривод:енерго- и ресурсосбережение*. М., Издателски център Академия, 208 с
- Браславский И.Я. , З.Ш. Ишматов, В.Н.Поляков. 2004. *Енергосберегающий асинхронный електропривод*, Издателски център Академия, 256 с
- Ильинский Н.Ф., Ю.В. Рожановский, А.О. Горанов. 1989 *Енергосбережение в електроприводе*. М., Высшая школа, 127 с.

Препоръчана за публикуване
от Редакционен съвет

¹ Този доклад е резултат на част от работата на авторите по договор №08217ГД-8/2008 г. към НИС при ТУ-София

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СЪПРОТИВЛЕНИЕТО НА ЕСТЕСТВЕННОТО ЗАЗЕМЯВАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ СОНДИ В Р."ЕЛАЦИТЕ"

Милен Дренков

СМС-С ЕООД, 2070 Пурдон

РЕЗЮМЕ: Дадени са резултати от експериментални изследвания за съпротивлението на естественото заземяване на сонди тип СБШ използвани за пробивно – взривни работи в р."Елаците" на "Елаците Мед" АД. Те обхващат измервания на специфичното съпротивление на масива в отделни хоризонти, съпротивлението на естествено заземяване (самозаземяване) на машините в практически възможни ситуации*.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE RESISTANCE OF NATURAL GROUNDING OF THE ELECTRICAL PROBES IN "ELACITE" PIT

Milen Drenkov

СМС-С Electrical engineering

ABSTRACT. Results are presented from experimental researches of the resistance of natural grounding of probes type СБШ used for drilling-explosion works in "Elacite" pit of "Elacite Med" Ltd. They comprise measurements of the specific resistance of the massive in separate horizons, the resistance of the natural grounding (self-grounding) of the machines in practically possible situations*.

Цел на експеримента

Целта на експерименталното изследване е да се получат реални стойности на съпротивлението на самозаземяване на минните машини, в случая на сонди, като функция от специфичното съпротивление на масива, от степента на навлажняване, от дължината на сондажния инструмент в отвора и начина на станциониране на машината.

Получените резултати ще допринесат за решаване на проблема за ефективното обезопасяване на подвижните минни машини, използвани както в откритите, така и в подземните рудници [1, 2], присъединени към ИТ система с изолирана неутрала за ниско напрежение (НН).

Метод на измерването

Измерването на съпротивлението на самозаземяване (естествено заземяване) на машината е осъществено със специализиран цифров измервателен уред GEONM – GTM503, клас на точност -2%.

Специфичното съпротивление на масива в хоризонта, където работи машината, е измерено по четирипроводна система [1] | 4 електроди и изчислено по формулата:

$$\rho = 2\pi a R_x, \Omega m \quad (1)$$

където: a - разстоянието между електродите, m

R_x - измерената стойност, Ω

Съпротивлението на самозаземяване (естественото заземяване) на сондите СБШ е измерено по трипроводна схема с два допълнителни електроди – токов и потенциален, отчитайки, че очакваните стойности са от порядъка 10^1 - $10^2 \Omega$.

При измерването се прекъсва веригата на защитния (РЕ) проводник, с който машината е присъединена към заземителната мрежа.

Самозаземяването на сондите от типа СБШ се осъществява чрез:

- Веригите за придвижване;
- Лапите за нивелиране и стабилизация;
- Сондажният инструмент

Ето защо при измерванията е отбелязана степента на активиране на посочените три елемента, в частност положението на лапите и наличността и дължината на щанги в отвора.

Резултати от измерванията

Резултатите от измерванията на специфичните съпротивления на масива на различни хоризонти и зони, в които са разположени сондите, са дадени на табл.1

Таблица 1

Хоризонт	Сонда №	Влажност на масива	Специфично съпротивление, $\Omega.m$
1120	22	Влажен	201
1120	23	Влажен	201
1105	26	Влажен	150
UEJ2	24	Вода и кал	24

Влажността, качествено определена е резултат на паднали дъждове в предходните няколко дни.

Резултатите от измерванията дават основание да се заключи, че при влажен масив, специфичното съпротивление се изменя в границите 150-200 $\Omega.cm$. При обилно намокряне, задържаната вода и кал в които се намира сондата, специфичното съпротивление е с една степен по-малко (24 $\Omega.cm$).

Ива достатъчно основание получените резултати да се приемат за типична, тъй като това състояние на масива е характерно за всички сезони и се променя само при продължително засушаване (без валежи) за период 1-2 месеца, което за условията на високо-планинския рудник "Елаците" е рядко явление.

Резултатите от измерванията на съпротивлението на самозаземяване на сондите са дадени на таблица 2, в която са отбелязани състоянието (положението) на лапите за нивелиране и стабилизация, наличие и дължина на сондажния инструмент в отвора.

Таблица 2

Сонда №	Хоризонт	Състояние на лапите за нивелиране	Наличност и дължина на работния инструмент в сондажа, m	Измерено съпротивление, Ω
22	1120	Спуснати	15	27,7
23	1120	Вдигнати	Липсва	49,3
		Спуснати	Липсва	41,1
24	KET2	Вдигнати	Липсва	13,6
		Спуснати	15	32,2
26	1105	Спуснати	Няма	48

Анализ на получените резултати

Получените резултати, систематизирани в таблица 1 и 2 позволяват да се направят следните изводи:

Препоръчана за публикуване от Редакционен съвет

1. Съпротивлението на самозаземяване на сондите от типа СБШ за условията на р-к "Елаците" се изменя в границите (15÷50) Ω .
2. Влажността на масива оказва съществено влияние върху както върху специфичното му съпротивление може да се намали приблизително в една степен (8-9), то съпротивлението на самозаземяване при условия на кал и вода намалява само 2-3 пъти.
3. Работният инструмент (щангата), когато е спуснат в сондажния отвор, т.е. по време на работа, влияе съществено върху съпротивлението на самозаземяване. Когато в отвора няма инструмент, съпротивлението на самозаземяване нараства с почти 50%.
4. Лапите за нивелиране и стабилизация също влияят на съпротивлението на заземяване, макар и в по-малка степен спрямо влиянието на сондажния инструмент. Това влияние е в размерите 15-20%.

Заклучение

При анализите на параметрите на заземителния контур на подвижните машини, в частност на сондите СБШ, трябва да се имат в предвид максималните стойности на съпротивлението на самозаземяване, които се получават при вдигнати лапи за нивелиране и стабилизация и при извадена от сондажния отвор сонда. За условията на р-к "Елаците" тези стойности са в границите от 30÷50 Ω , които са съизмерими с регламентираните в БДС 11623-83 стойности на съпротивлението на заземителния контур, но към които има основателни резерви [2,3], оценявайки риска за електрически травми на обслужващия персонал.

Отчитайки нарастването на тези стойности при продължително засушаване, естественото заземяване не може да гарантира необходимата електробезопасност без ползване на допълнително заземяване (заземителен контур). Задължителното контролиране на параметрите на заземителния контур е необходимо условие за работата на подвижните машини.

Литература:

- Стоянов Ст., Г.Анев. Електрически системи. Заземление. Защити. Безопасност., част I и II "ABC техника" С., 2004г.
- Ментешев, М., Ст.Чобанов, М.Дренков. Сп.Минно дело и геология, №6 / 2007 "Земя" 2007.
- Дренков М., Относно защитното заземяване на подвижните минни машини в IT системи. Годишник на МГУ "Св.Иван Рилски", том 50, св.III "Механизация електрификация и автоматизация в мините. "ИК "Св.Иван Рилски", С., 2007

АРХИТЕКТУРА НА СИСТЕМА ЗА МОНИТОРИНГ НА ЕЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕТО НА „СТОМАНА ИНДЪСТРИ” АД

Диана Дечева, Здравко Илиев, Иван Стоилов

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски”, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Представени са основните съображения при избор на структура и архитектура на система за контрол на електропотреблението на „Стомана индъстри” АД

ARCHITECTURE OF THE SYSTEM FOR MONITORING OF THE ENERGY CONSUMPTION AT THE “STOMANA INDUSTRY” AD

Diana Datcheva, Zdravko Iliev, Ivan Stoilov

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

ABSTRACT. The major considerations for selection of a structure and architecture of a system for control of the energy consumption at “Stomana Industry” have been presented.

Въведение

Процесът на непрекъснат контрол и анализ на параметри на електропотреблението, известен като мониторинг, е неотменна и важна част от дейността, свързана с енергийния мениджмънт. Той се явява предпоставка за оперативна оценка на специфичната енергоемкост на отделни цехове и производства. Предоставяната от него информация е база за търсене на пътища и средства за намаляване на консумацията, което е от съществено значение при утвърдилата се тенденция на постоянно нарастване на цената на електроенергията.

Изграждането на системи за енергиен мониторинг е изключително важно за всички предприятия от категорията „Привилегировани потребители” на НЕК, за които електроенергията се остойностява по по-ниски цени, но при стриктно спазване на предварително договорирани усреднени мощности за всеки час от денонощието. Без средства за непрекъснат контрол и натрупване на бази данни със статистическа информация е немислимо както ефективното прогнозиране и планиране на консумацията, така и оперативното и управление с цел изпълнение на договорените количества електроенергия. А всяко нарушение на параметрите на договора е свързано със значителни финансови санкции. Поради това все повече предприятия оценяват необходимостта и пристъпват към внедряване на системи за оперативен контрол на електропотреблението (Пачаманов, 2002; Стоилов и др. 2003; Стоилов и др. 2004 и др.). Тяхната организация и архитектура може да бъде различна и се обуславя от редица фактори: брой електромери, пространствено разположение на електромерите, изградена вътрешно-заводска информационна инфраструктура, възможности за

пренос на информацията, специфични изисквания на предприятието и др.

В конкретния случай беше поставена задачата за обхващане в единна система за контрол на електропотреблението на 120 електромера, разпръснати по територията на цялото предприятие „СТОМАНА ИНДЪСТРИ АД” в 30 отделни подстанции и точки на измерване.

Елементи на архитектурата и концепция за изграждане на информационните нива

При създаването на системата за мониторинг са използвани трифазни мултифункционални електромери с индиректно свързване, производство на фирма “Мулти-процесорни системи” ООД с клас на точност 0,2, 0,5 и 1. Електромерите са с възможност за предаване на информация на разстояние с използване на интерфейсите RS232, RS485 или “токов кръг”. За целта всеки електромер разполага със съответните клемореди и куплунзи.

Важно изискване към системата беше тя да работи в „реално време”, което лимитира допустимото време за събиране на информация от всички електромерите в рамките на 1 минута. Направените изчисления показаха, че при дефинирания брой електромери и с отчитане на времето, необходимо за реализиране на протокола за обмен на данни с един електромер, тази задача не може да бъде реализирана с използване на един компютър. Това определи необходимостта от използване на няколко отделни компютърни системи (локални станции), осъществяващи операциите по сканиране и първична обработка на информацията от обособена група

електромери. При това бе установено, че за удовлетворяване на поставените изискванията за бързодействие на системата, към дадена локална станция не могат да бъдат включени повече от 40 електромера.

Наложи се изводът, че за изграждането на системата за контрол и управление на електропотреблението е необходимо комуникацията да се организира на две нива:

1. Ниско ниво, осигуряващо събиране на данни от група електромери и концентриращо получената информация.

2. Ниво, свързващо отделните системи за събиране на данни в обща мрежова структура.

Организация на ниското ниво

Възможностите за организация на ниското ниво са ограничени до използване на вградените в електромерите интерфейси и наличните в производство концентратори на сигнали, използващи "токов кръг" или RS485. Анализите показаха, че и двата интерфейса са подходящи за осъществяване на връзка в средата на наличните силни магнитни, електроматнитни и радиосмущения. В конкретния случай пространственото разположение на локалните станции е така подбрано, че средното разстояние между тях и отделните електромери е 300-400 метра, а в само в отделни случаи достига до 900 – 1000 метра. И двата интерфейса осигуряват безпроблемно предаване на информацията на тези разстояния.

При събирането на данни с използване на концентратори по интерфейс "токов кръг" обаче, съществува ограничението за включване на не повече от 8 електромера във всеки кръг. При наличието на 4 токови кръга към всеки концентратор този подход не позволява в дадена точка да бъдат включени повече от 32 електромера. Това се явява значителен недостатък, тъй като в точки, които електромерите са повече на брой или са силно разредоточени териториално се усложнява значително опроводяването на мрежата и се налага поставянето на повече от един концентратор, което оскъпява техническото решение.

Предлаганите от фирмата производител концентратори по интерфейс "токов кръг" могат да комуникират директно с второто ниво, осъществявайки връзка по радиомодем, RS232, RS485, клетъчна мрежа и др, което е голяма предимство. Независимо от това при реализацията на конкретната система вариантът с използване на токов кръг беше отхвърлен поради ограниченията за максимален брой включени електромери и по-големите трудности при прокарването на комуникационните проводници. Не без значение беше и обстоятелството, че основната схема на разположение на електромерите е от тип «звезда» често с повече от 8 електромера в даден лъч.

По-подходящ за изграждането на ниското ниво се оказа RS485. Чрез този интерфейс всяка група електромери, може да бъде свързана в отделна шинна система с концентриране на информацията в локална станция през преобразувател на интерфейси I-7563 (3xRS485 – USB). Този преобразувател представлява модул за трансфер на данни между интерфейсите RS485 и USB с автоматична настройка на скоростта на обмен и формата на

предаваните данни. На практика представлява едноканален RS485–USB преобразувател с 3 портов хъб, позволяващ разклоняване на интерфейса RS485 в топология "звезда". Тъй като устройството се захранва от USB порта на локалната станция, липсва необходимост от инсталиране на допълнителен захранващ източник. При него не съществува на практика и ограничението по брой свързани в даден лъч електромери.

За осъществяване на връзката между електромерите и преобразувателите на интерфейс беше избран екраниран кабел тип "усукана двойка" BELDEN 3106A, със следните данни:

1. Конструкция

- усукана двойка от многожичен проводник в екран от метализирана лента с дренажен проводник и оплетка от медни калайдисани проводници в обвивка от PVC.
- общ брой на жилата – 3
- диаметър на жилата – 0,762 mm (7x0,254)
- външен диаметър на кабела – 7,62 mm
- минимален радиус на огъване – 76,2 mm
- маса на 1 km кабел – 71,6 kg
- работна температура: от – 20 до + 60 °C

2. Електрически характеристики

- вълново съпротивление при 1 MHz – 120 Ω
- номинална индуктивност – 0,666 μH/m
- номинален капацитет между проводниците при 1 kHz – 36,091 pF/m
- номинален капацитет между единия проводник и другите проводници съединени с екрана – 68,573 pF/m
- омично съпротивление на жилото при 20 °C – 48,231 Ω/km
- омично съпротивление на оплетката при 20 °C – 9,187 Ω/km
- коефициент на затихване при честота 1 MHz – 1,64 dB/100m

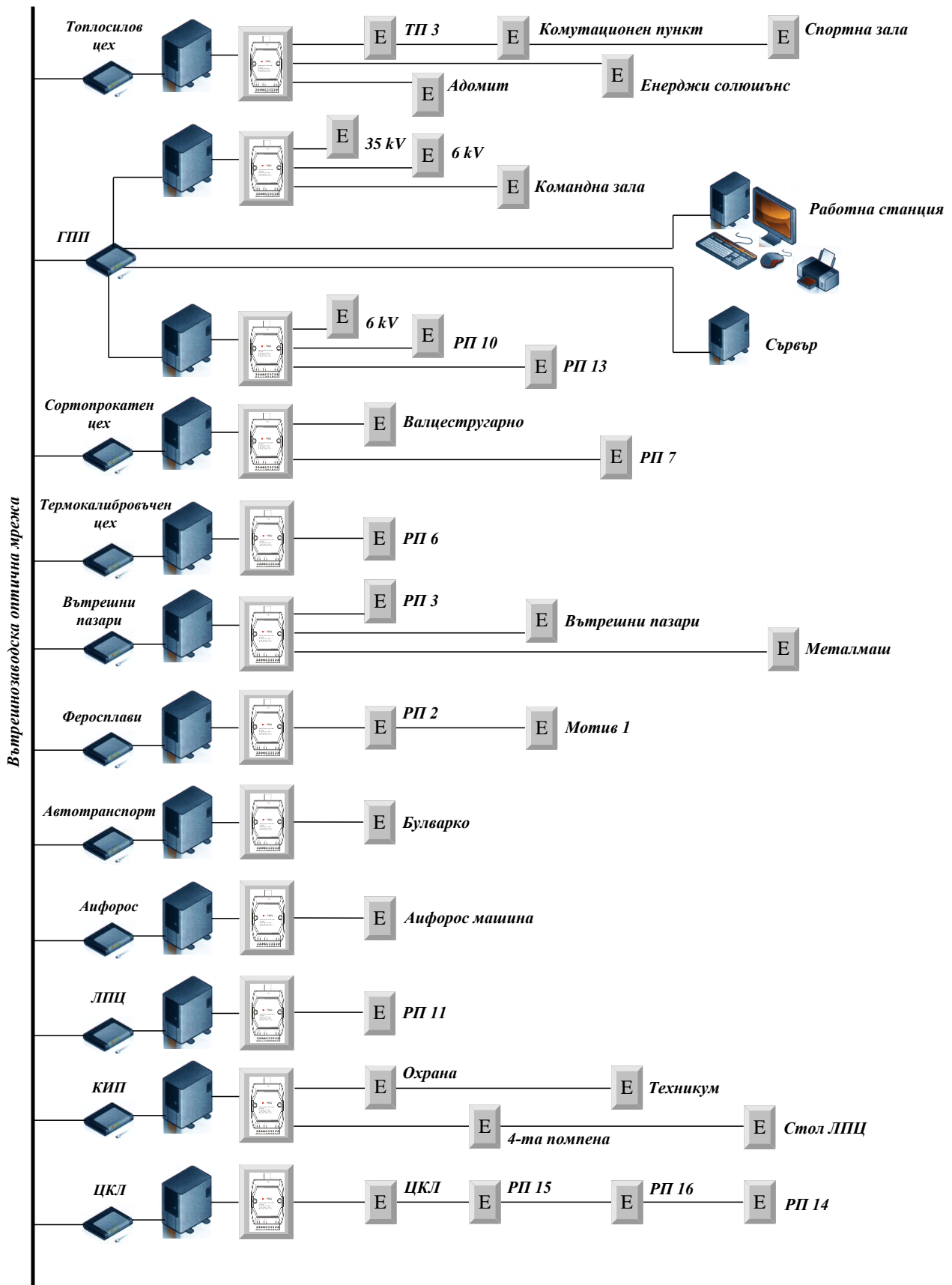
За избягване на наличните смущения с голям интензитет, ширмовката на мрежовия кабел беше заземена в една точка във всеки отделен клон на мрежата.

Проведените предварителни изследвания показаха, че независимо от относително високата си цена, използването на този вид кабел позволи значително да се повиши сигурността при предаването на данни, което осигури безаварийна експлоатация на системата до този момент.

Организация на комуникацията на високото ниво

При избора на начин за предаване на информацията при горното ниво на системата, отново бяха анализирани няколко възможности – използване на радиомодеми, GSM мрежа и съществуващата изградена в рамките на предприятието оптична мрежа. Бяха анализирани предимствата и недостатъците на отделните типове комуникация по отношение на:

- възможност за предаване на информацията на значителни разстояния, от порядъка на 3-4 километра;
- цена на осъществяване на информационния обмен;



Фиг. 1. Архитектура на системата за мониторинг на електропотреблението в „СТОМАНА ИНДЪСТРИ“ АД

- сигурност на комуникацията;
- възможност за непрекъснато предаване на данни в реално време;
- експлоатационни разходи.

Поставените условия доведоха до отхвърляне на системите за безжично предаване на информацията тъй като:

1. Използването на връзка чрез GSM е скъпо, особено когато се налага работа в режим на непрекъснато предаване на информация. А това е наложително, тъй като системата трябва във всеки един момент от времето да разполага със стойностите за консумирана моментна мощност. Изборът на този подход би довел до значителни разходи при експлоатацията на системата, и то в такава степен, че ползването и ще бъде икономически неизгодно.

2. В много от местата в които се концентрира информацията съществуват големи по размери метални конструкции, които екранират радиосигнала. Наличието на мощни електромагнитни смущения при работата на промишлените агрегати също внасят елемент на несигурност в комуникацията.

Най-евтин и сигурен начин за осъществяване на комуникацията на горното ниво се оказва възможността за използване на вътрешнозаводската оптична мрежа. Основният проблем беше, че тя бе предварително изградена и прокарването и не беше съобразено с основните точки на монтаж на електромерите, което в много случаи доведе до увеличаване на дължините на кабелните трасета.

Структура на системата

Критериите за определяне на броя и местоположението на локалните станции бяха:

- минимална дължина на връзките;
- осигурено място за монтаж с възможност за присъединяване към вътрешнозаводската оптична мрежа;
- осигуряване на максимално допустимо време за сканиране на всички електромери, включени в една локална станция.

В резултат на компромисна оптимизация по гореописаните критерии беше синтезирана архитектура на системата за мониторинг, обхващаща 12 локални и една сървърна станции. Общият и вид е представен на фиг. 1. В точките на монтаж на локалните станции са разположени SWITCH-овете за връзка с вътрешнозаводската оптична мрежа и преобразувателите на интерфейс RS485 към USB. Връзката на компютрите със SWITCH-овете е осъществена със стандартен UTP кабел.

Функции на локалната, сървърната и потребителските станции

Локалните станции осъществяват:

- комуникационните протоколи с включените към тях електромери;
- първична обработка на информацията, включително филтриране и валидизация на данните;
- натрупване на получените от електромерите показания в първична база данни;
- местна индикация;

Препоръчана за публикуване от катедра
"Автоматизация на производството", МЕМФ

- обмен на информация със сървърната станция.

Основните функции на сървъра са:

- поддръжка и управление на глобалната база данни;
- обработка на информацията;
- синхронизация на работата на локалните и потребителските станции;
- маршрутизация и обработка на заявките в цялата система.

Като потребителска станция в системата може да бъде използвана всяка съществуваща компютърна система, включена в локалната мрежа при условие, че в нея предварително е инсталиран съответния софтуер и са осигурени необходимите права за достъп. От всяка потребителска станция са достъпни:

- Енергийният скрийн сейвър;
- Разработените графични екрани, даващи възможност за получаване на бърза и нагледна информация за моментното състояние на основните консуматори;
- Всички функции на справочната система, позволяваща формиране на разнообразни справки като денонощен товаров график, консумирана електрическа енергия, дневно извлечение за сетълмент на търговския участник, разходи за консумирана електрическа енергия, извлечение за консумирана електрическа енергия за външни потребители и др. Периодът от време, за който се отнася справка се задава от потребителя. Възможно е детайлизиране на информацията чрез разделно отразяване на данните за делнични и празнични дни.
- Моментните показания на електромерите.

Заклучение

Системата успешно премина 72-часови проби и се намира в редовна експлоатация в „СТОМАНА ИНДЪСТРИ“ АД.

Литература

- Пачаманов, А. Планиране, контрол и управление на енергопотреблението. Изд. „Кин“, София, 2002
- Стоилов, Ив., К. Джустров, М. Ментешев, А. Трапов. Система за измерване, контрол и управление на обогатителна фабрика „Елаците“ на „Елаците мед“ АД. Годишник на МГУ, т.46 св. III, 2003.
- Стоилов, Ив., К. Джустров, А. Трапов, М. Ментешев. Контрол и управление на разходите на електрическа енергия на привилегировани потребители на НЕК. Минно дело и геология, бр. 5, 2004.
- Power Logic Systems, Schneider Electric Industries, France, 2002
- <http://www.incotex.bg> Система 'INCOTEX PLC'
- <http://www.carat-electronics> Система CARAT ELECTRONICS
- <http://www.sigmadev.net> Sigma Factor EMS .

ВЪРХУ ЕДНА ПРЕДАВАТЕЛНА ФУНКЦИЯ

Симеон Гагов

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, София

РЕЗЮМЕ: В работата се третира изводът на предавателната функция обвързваща ъгловата честота на платформата на роторен багер с изнасяща се стрела с ъгловата честота на изземане на забоя.

ABOUT A TRANSMISSION FUNCTION

Simeon Gagov

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

ABSTRACT: The article treats the deduce of transmission function connected angular speed to the rotor excavators platform with taking out jib and the angular speed of the face taking away.

В публикацията Математичен модел на роторния багер в процеса на автоматично копаене (Гагов Е., Автоматика и изчислителна техника кн.2, 1968), подробно е изведено уравнението на движение, обвързващо ъгъла на завъртане на платформата на роторен багер с изнасяща се стрела с ъгъла на изземане на забоя:

$$\ddot{\varphi}_{заб} + \frac{k_{15}(\rho_1 - S)^2}{J_0} \left[\delta_{\min} + \frac{\delta_{\max} - \delta_{\min}}{T_0} (t - nT_0) \right] \dot{\varphi}_{заб} + \frac{c(\rho_1 - S)^2}{J_0} \varphi_{заб} = \frac{c(\rho_1 - S)^2}{J_0} \varphi_{нл} \quad (1)$$

където:

$\varphi_{заб}$ - ъгъл на изземане на забоя;

$\varphi_{нл}$ - ъгъл на завъртане на платформата;

k_{12} - коефициент зависещ от специфичното съпротивление на скалите при копаене;

ρ_1 - разстояние от върха на стрелата до оста на въртене;

S - хоризонтална проекция на пътя, изминат от лафета до оста на въртене;

J_0 - общ приведен инерционен момент на роторната стрела и съоръженията върху нея;

δ - дебелина на снеманата от една кофа стружка;

T_0 - дискретен интервал от време;

n - брой на излизащите от забоя кофи на роторното колело ($n = 0, 1, 2, \dots$ за всяко t кратно на T_0);

c - твърдост на стрелата.

След елементарни преобразувания израз (1) получава вида:

$$\begin{aligned} \ddot{\varphi}_{заб} + \frac{k_{15}(\rho_1 - S)^2}{J_0} [(n+1)\delta_{\min} - n\delta_{\max}] \dot{\varphi}_{заб} + \\ + \frac{k_{15}(\rho_1 - S)^2}{J_0} \frac{\delta_{\max} - \delta_{\min}}{T_0} t \dot{\varphi}_{заб} + \\ + \frac{c(\rho_1 - S)^2}{J_0} \varphi_{заб} = \frac{c(\rho_1 - S)^2}{J_0} \varphi_{нл} \end{aligned} \quad (2)$$

След като се положи:

$$\frac{k_{15}(\rho_1 - S)^2}{J_0} [(n+1)\delta_{\min} - n\delta_{\max}] = a_1$$

$$\frac{k_{15}(\rho_1 - S)^2}{J_0} \frac{\delta_{\max} - \delta_{\min}}{T_0} = a_2$$

$$\frac{c(\rho_1 - S)^2}{J_0} = a_3,$$

диференцират се двете страни на уравнение (2) и като се знае, че $\dot{\varphi} = \omega$ се получава:

$$\frac{d^2 \omega_{заб}}{dt^2} + a_1 \frac{d\omega_{заб}}{dt} + a_2 t \frac{d\omega_{заб}}{dt} + (a_2 + a_3) \omega_{заб} = a_3 \omega_{нл} \quad (3)$$

Към израз (3) се прилага преобразуването на Лаплас, в резултат на което се получава:

$$p^2 \omega_{заб}(p) + a_1 p \omega_{заб}(p) + a_2 L \left\{ t \frac{d\omega_{заб}}{dt} \right\} + (a_2 + a_3) \omega_{заб}(p) = a_3 \omega_{нл}(p) \quad (4)$$

В израз (4)

$$L \{ -t \dot{\omega}_{заб}(t) \} = \int_0^{\infty} -t \dot{\omega}_{заб}(t) e^{-pt} dt = - \int_0^{\infty} \frac{d}{dp} [\dot{\omega}_{заб}(t) e^{-pt}] dt = - \frac{d}{dp} \int_0^{\infty} \dot{\omega}_{заб}(t) e^{-pt} dt \quad (5)$$

След извършване на обозначените в израз (5) математически действия се получава:

$$L \{ -t \dot{\omega}_{заб}(t) \} = - \left[\omega_{заб}(p) + p \frac{d\omega_{заб}(p)}{dp} \right]$$

Въз основа на свойството адитивност на преобразуването на Лаплас следва:

$$L \{ t \dot{\omega}_{заб}(t) \} = \left[\omega_{заб}(p) + p \frac{d\omega_{заб}(p)}{dp} \right] \quad (6)$$

Като се отчете (6) израз (4) получава вида:

$$p \frac{d\omega_{заб}(p)}{dp} + (p^2 + a_1 p + a_2 + a_3 + 1) \omega_{заб}(p) = a_3 \omega_{нл}(p) \quad (7)$$

След полагане в (7) на

$a_2 + a_3 + 1 = a_4$ и след разделяне на двете му страни с p , се получава:

$$\frac{d\omega_{заб}(p)}{dp} + \frac{p^2 + a_1 p + a_4}{p} \omega_{заб}(p) = \frac{a_3}{p} \omega_{нл}(p) \quad (8)$$

Тъй като целта е да се намери предавателната функция на разглежданата система следва да се приеме:

$$\omega_{нл}(t) = \delta(t)$$

където $\delta(t)$ е функцията на Дирак.

Следователно:

$$\omega_{нл}(p) = 1$$

В резултат уравнение (8) получава вида:

$$\frac{d\omega_{заб}(p)}{dp} + \frac{p^2 + a_1 p + a_4}{p} \omega_{заб}(p) = \frac{a_3}{p} \quad (9)$$

Уравнение (9) е класическо линейно диференциално уравнение от първи ред. За решаването му се полага:

$$\omega_{заб}(p) = u(p) \nu(p) \quad (10)$$

Следователно:

$$\frac{d\omega_{заб}(p)}{dp} = \frac{du(p)}{dp} \nu(p) + u(p) \frac{d\nu(p)}{dp} \quad (11)$$

След заместване на (10) и (11) в (9) се получава:

$$u(p) \left[\frac{d\nu(p)}{dp} + \frac{p^2 + a_1 p + a_4}{p} \nu(p) \right] + \nu(p) \frac{du(p)}{dp} = \frac{a_3}{p} \quad (12)$$

Функцията $\nu(p)$ се избира по такъв начин, че да е изпълнено равенството:

$$\frac{d\nu(p)}{dp} + \frac{p^2 + a_1 p + a_4}{p} \nu(p) = 0, \quad ,$$

от където следва:

$$\frac{d\nu(p)}{\nu(p)} = - \left(p + a_1 + \frac{a_4}{p} \right) dp \quad (13)$$

След интегриране на уравнение (13) се получава:

$$\nu(p) = \frac{1}{p^{a_4} e^{0.5(p+a_1)^2}} \quad (14)$$

Въз основа на (12) следва:

$$\frac{1}{p^{a_4} e^{0.5(p+a_1)^2}} \frac{du(p)}{dp} = \frac{a_3}{p} \quad \text{или} \quad \frac{du(p)}{dp} = a_3 p^{a_4-1} e^{0.5(p+a_1)^2} \quad (15)$$

След интегриране на (15) се получава:

$$u(p) = a_3 \int p^{a_4-1} e^{0.5(p+a_1)^2} dp + C \quad (16)$$

След заместване на (15) и (16) в (10) се получава:

$$\omega_{заб}(p) = \frac{a_3 \int p^{a_4-1} e^{0.5(p+a_1)^2} dp + C}{p^{a_4} e^{0.5(p+a_1)^2}} \quad (17)$$

Тъй като както беше показано $\omega_{нл}(p) = 1$, то $\omega_{заб}(p) = W(p)$:

$$W(p) = \frac{a_3 \int p^{a_4-1} e^{0.5(p+a_1)^2} dp + C}{p^{a_4} e^{0.5(p+a_1)^2}} \quad (18)$$

Израз (18) е предавателната функция на разглежданата система.

В този вид изразът е неизползваем. За да се получи удобен за работа вид на предавателната функция, следва да се реши интеграла в числителя и освен това да се елиминира $e^{0.5(p+a_1)^2}$

Посочените изисквания могат да бъдат изпълнени чрез използване на субституцията $(p + a_1)^2 = x$ от където

$$p = \sqrt{x} - a_1$$

следователно:

$$dp = d(\sqrt{x} - a_1)$$

Въз основа на тази субституция интегралът в числителя на израз (18) получава вида:

$$\int (\sqrt{x} - a_1)^{a_4 - 1} e^{0.5x} d(\sqrt{x} - a_1) \quad (19)$$

т.е

$$\int p^{a_4 - 1} e^{0.5(p+a_1)^2} dp = \int (\sqrt{x} - a_1)^{a_4 - 1} e^{0.5x} d(\sqrt{x} - a_1) \quad (20)$$

Следва да се реши интеграл (19)

$$\begin{aligned} \int (\sqrt{x} - a_1)^{a_4 - 1} e^{0.5x} d(\sqrt{x} - a_1) = \\ = \frac{1}{a_4} \left[e^{0.5x} (\sqrt{x} - a_1)^{a_4} - \frac{1}{2} \int (\sqrt{x} - a_1)^{a_4} e^{0.5x} dx \right] \end{aligned} \quad (21)$$

Изразът $(\sqrt{x} - a_1)^{a_4}$ се развива в биномен ред както при цели така и при нецели стойности на степенния показател a_4 , т.е. в общ вид е полином на x . В общ вид интегралът

в средните скоби на израз (21) се записва като $\int P(x) e^{ax} dx$, чието решение в общ вид е:

$$\begin{aligned} \int P(x) e^{ax} dx = e^{ax} \left(\frac{P(x)}{a} - \frac{P'(x)}{a^2} + \dots + (-1)^n \frac{P^{(n)}(x)}{a^{n+1}} \right) + \\ + (-1)^{k+1} \frac{1}{k+1} \int e^{ax} P^{(k+1)}(x) dx \end{aligned} \quad (22)$$

От (18), (21) и (22) е ясно, че това решение на интеграла в числителя на предавателната функция гарантира елиминирането от окончателния ѝ вид, трансцендентната функция $e^{0.5(\rho+a_1)^2}$. Тук обаче следва да се отбележи, че посоченото решение на интеграл (22) има краен вид само при цели стойности на a_4 . При нецели стойности на степенния показател a_4 се получава безкраен ред (22), което налага допълнителни изследвания за уточняване на достатъчния брой членове на реда осигуряващи точност на предавателната функция. Тези допълнителни изследвания не са обект на настоящата работа.

Литература

- Гегов Е., Математичен модел на роторния багер в процеса на автоматично копаене, Автоматика и изчислителна техника кн.2, 1968.
- Штокало И., Операционное исчисление, Наукова думка, Киев, 1972.
- Матвеев Н., Методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений, Высэйшая школа, Минск, 1974.
- Ляшко И., А. Боярчук, Я. Гай, Г. Головач, Справочное пособие по математическому анализу, часть I, Вища школа, Киев, 1978.

Препоръчана за публикуване от катедра
"Автоматизация на производството", МЕМФ

НАБЛЮДЕНИЕ НА КОРОЗИОННОТО СЪСТОЯНИЕ НА ПОДЗЕМНИ ТРЪБОПРОВОДИ С ПОМОЩТА НА СЕНЗОРНИ УСТРОЙСТВА

Теодора Христова

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, e-mail teodora@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Анализирани са конструктивните особености и основните характеристики на различни според принципа на действие и предназначение датчици. С помощта им се извършва измерване на корозионността на почвата и ефективността на електрохимичната защита, в това число и в полето на блуждаещи токове. В зависимост от условията на средата и предназначението на датчиците се определя ефективността и стойността им.

OBSERVE OF CORROSION STATE OF UNDERGROND PIPELINES THROUGH SENSOR'S EQUIPMENTS

Teodora Hristova

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

ABSTRACT. This paper analyses construction properties and the main characteristics of the different gauges in accordance with their operational mechanism and their applications. The gauges measure the corrosion of the soil and efficiency of electrochemical protection including in the field of stray currents.

Въведение

Оценката на състоянието на тръбопроводите е многостранно понятие. Може да се определя местоположението на тръбопровода, налягането в тръбите или степента на корозия.

Системите за защита от корозия се състоят от измервателна част, от устройство което изработва защитен ток и от управляващ модул. Техническите иновативни решения зависят от приложението им в системите за защита. Системите за защита според начина на изграждането им са:

- електрически дренаж – за защита от блуждаещи токове и подпочвена корозия
- катодна защита – с помощта на външен източник на ток
- протекторна защита – с помощта на анодни галаванични електроди

За поддържане на нужните защитни параметри на защитната система е нужно величините да се следят непрекъснато. В зависимост от условията на средата и предназначението на датчиците се определя ефективността и стойността им. Не е възможно следене на процесите на корозия без да са изследвани причините в конкретните експлоатационни условия и без да се вземат предвид характеристиките на подземното съоръжение.

Класификация

Според начина на получаване на данните се различават преки и косвени методи на измерване. При преките методи резултатът се измерва директно от измерващото

устройство, а при косвените резултатът от измерването се получава след математична обработка на измерените стойности. Изборът на метод и принцип на измерване зависи от желаната точност, средата, приложимост, агресивност на средата и т.н.

Датчиците, използвани в устройствата за катодна защита, според мен се класифицират по още два принципа – според функциите, които изпълняват и използваният метод на измерване. Според функциите, които изпълняват са:

- за установяване на корозия
- за измерване на ефективността на прилаганата катодна защита: измерване на съпротивлението на защитавания материал, измерване на потенциалната разлика "земля- защитавано съоръжение"
- датчици за изследване на корозивността на почвата
- датчици за определяне на устойчивостта на материалите
- датчици за определяне на процесите на корозия в анодите [2]

В зависимост от приложението на датчика те работят на различен принцип: резистивен, магнитоиндукционен, капацитивен, магнитоелектричен, ултразвуков, та дори и радиоактивен [3]. Изборът на метод за измерване зависи от конкретното приложение: условия на експлоатация на тръбопровода, агресивност на транспортирания флуид, електрохимична характеристика на заобикалящата среда, наличие на блуждаещи токове, материал на тръбопровода и т.н.

За измерване на ниво на корозия се използват преки и косвени методи, основани на следните принципи:

- Резистивни методи. Те се основават на промяна на съпротивлението на изследвания материал в резултат на корозията, измерван от едната страна на стената на тръбата. Има две възможности - според поляризационната крива [4] и чрез измерване на проводимостта на изследвания материал и последващо изчисление на нивото ѝ чрез прилагане на метода на Тафелевата крива [5]
- - Ултразвуков – който измерва отношението между скоростта на протичане на флуид близо до повърхността на тръбата за определен период от време. След преобразуване на сигнала се определя нивото на корозия. [6]
- Магнитен - който измерва забавянето на електромагнитната вълна. Точността на такива устройства намалява поради влиянието на агресивната среда върху забавянето на вълната, промяна на електросъпротивлението на изследвания обект поради утечка на тока и други. Предимство на метода е нечувствителността на магнитното поле към диелектричната проникваемост и електропроводимостта на корозионната среда.
- Оптични системи и оптоелектронен сензор. Монтирането на оптична система в тръбопроводите е подходяща само за тези, транспортиращи газообразни вещества.
- Магнитоиндуктивен метод – измерва се интервалното време на вълната, като се контролира с пусков импулс от стартов генератор и сигналът се получава от антена.
- Радиоактивен. Използва се радиоактивно лъчение.

Измерване на корозивността на металите един спрямо друг. Използва се при наличие на чужди съседни структури. Основани са на резистивни методи и се извършват предимно в лабораторни условия. [7,13]

Оценка на скоростта на корозия:

- резистивен принцип, използва се многоелектродна система [14]
- корозия в агресивен газов флуид се използват електромагнитни датчици, които измерват забавянето на електромагнитната вълна.
- Индуктивният принцип. Прави се сравнение между работеща електромагнитна намотка и индуктивността на еталонна електромагнитна намотка [15]
- Електромагнитен принцип.

Определяне на стрес корозия:

- капацитивно чрез лапи – променя се капацитета между електрода и обекта в резултат на корозията
- резистивно чрез лапи
- магнитното поле при магнитни материали. [20]

- оптоелектронен сензор

Определяне на крекинг корозия. Електромагнитните вълни също се използват за откриване на крекинг корозия в тръбопроводи.[1] Ултразвуковият, магнитният и резистивният метод не са ефективни при откриване на крекинг корозията.

Откриване на корозия при наличие на филмови и други покрития на тръбите се използва основно резистивен метод в схеми с два електрода [16,17]

При изследване на корозията по метални повърхности се прилагат специални методи – интерференция, спектроскопия и др. Чрез тях се достига високата резолюция - от 0.1 до 100 микрона. [18] Обектите могат да бъдат изследвани независимо от причината за корозия – органичен или неорганичен причинител, или други характеристики на обекта – електропроводим, магнитопроницаем, температура, влажност, абразивност.

Интерес представляват датчиците за установяване на корозия, защото те дават първите данни за нуждата от катодна защита и параметрите ѝ. Те се разделят на следните видове:

1.Устройства за определяне на загубата на материал – работят предимно на принципа на електромагнитната индукция или с ултразвукови вълни, като определят дебелината на стената на тръбата. Възможно е да се използва и радиоактивен метод, но той е неприложим за измерване на вътрешността на тръбите.

2. Устройства за установяване на пукнатини – ултразвукови, напречно електромагнитни вълни, еластични вълни, тегловен метод – използват се здрав тръбопровод и се сравнява сигнала между две ултразвукови вълни. Тегловният метод се използва само в лабораторни условия за изпитване на образци или материали.

3. Устройства, използващи геометрични средства - определят се промените на формата, здравината и т.н. това могат да бъдат механични пръсти, които минават по повърхността на тръбата, жирокопско изследване или GPS система, която установява промяната в местоположението на тръбата.

От направеният преглед може да се установи, че всички изброени методи имат предимства и недостатъци. Резистивните са неточни, влияят се от промените в температурата и състава на транспортираното вещество, но имат лесна поддръжка. Датчиците, работещи на този принцип се характеризират с лесен монтаж върху съоръжението и кратък експлоатационен живот. Те не регистрират корозията, която се появява под изолационното покритие. Измерването на корозия чрез изследване на поляризационната крива е неточен метод, поради наличие по повърхността на продукти на корозията.

Резистивните, магнитоиндуктивните методи и тези основани на промяна на магнитното поле работят определен период от време, нямат дълъг живот на експлоатация. Методите, работещи на принципа на измерване на магнитното поле се прилагат основно в лабораторни условия, при което се използва липсата на разпространение на вихрови токове в порестата структура

на ръждата [7,8]. Точността на такива устройства намалява поради влиянието на агресивната среда върху забавянето на вълната, промяна на електросъпротивлението на изследвания обект поради утечка на тока и други. Предимство на метода е нечувствителността на магнитното поле към диелектричната проницаемост и електропроводимостта на корозионната среда. Електромагнитен принцип е подходящ при наличие на агресивен флуид. За разлика от тях магнитоиндуктивните методи имат дълъг експлоатационен живот. [11,12] Магнитното поле трябва да е перпендикулярно на аксиалната част на тръбата. За успешното регистриране на дълбочината на кородиралите участъци трябва точно да бъдат поставени сензорите и да се определи разстоянието между тях. Капацитивните датчици са точни, но изискват тръбата да е от проводим материал.

Ултразвуките методи са приложими в полеви и лабораторни условия. Точни, но поставянето и обслужването им е свързано с големи разходи. Недостатък е, че точността на регистриране промените в долната част на тръбите и резервоарите е ниска. Използването на свръхзвукови сигнали [6] позволява да се диагностицира корозията от разстояние дори и в изградени тръбопроводи. Радиоактивните методи са подходящи единствено в лабораторни условия, в полеви условия излъчвателят и приемникът трябва да са защитени.

Чрез изграждане на оптична система за подземно реално наблюдение на Fabry-Perot корозивни дупки се намират чрез огледало, което е интегрално монтирано и е изработено от материала на тръбата [9]. Като нова технология е използването на оптоелектронен сензор за изследване на корозията в подводни тръбопроводи. [7] Двата метода се прилагат рядко, поради новост на технологията и трудност при внедряване.

Недостатък на повечето датчици, които измерват потенциал е усредняване на стойността му за даден участък, без да се взема предвид формата и големината на дефекта.

Тенденции в изработването на датчици, обслужващи системите за катодна защита на подземни тръбопроводи.

Точността при измерване се повишава чрез различни технологични решения. При резистивните методи това е повишаване на броя на електродите. Използват се схеми с 2, 3 или повече електрода, например в среда с наличие на мехури и други включения независимо от причината. При ерозия или химическа корозия е подходяща 4 електродна схема. Многоелектродната схема дава възможност за следене на процесите по-дължина на тръбопровода – това може да се съгласува с промяна на параметрите на обкръжаващата среда при полагане на тръбопровода.

Изолирането на електродите индикатори води до повишаване на точността, чрез премахване на взаимното екраниране.

Ако се направи обобщение схемите с три електрода измерват по-точно, има възможност за откриване на питинг корозия, откриват корозия в по-ранни стадии и в по-малки засегнати участъци, използват се при всякакви

тръбопроводи и резервоари, измерват и в агресивна среда, не се влияят толкова от pH

В измервателната техника непрекъснато се работи за промяна конструкцията на датчиците. Моделирани са сонди за непосредствено измерване на корозия. Те могат да бъдат с вътрешно или външно захранване или да са комбинирани. Интересно е да се отбележи, че в някои случаи системите за катодна защита се приспособяват и за защита на хора от индуциран потенциал между земя и тръба чрез поставянето на мрежа, анод от материали като цинк. [19]

С цел подобряване на работата на датчиците и повишаване на бързината, точността и функциите се изграждат GPS системи на подаване на информацията. Така може да се направи карта на тръбопроводната система и да се следи информацията от всички датчици с цел повишаване надеждността и ефективността на катодната защита.

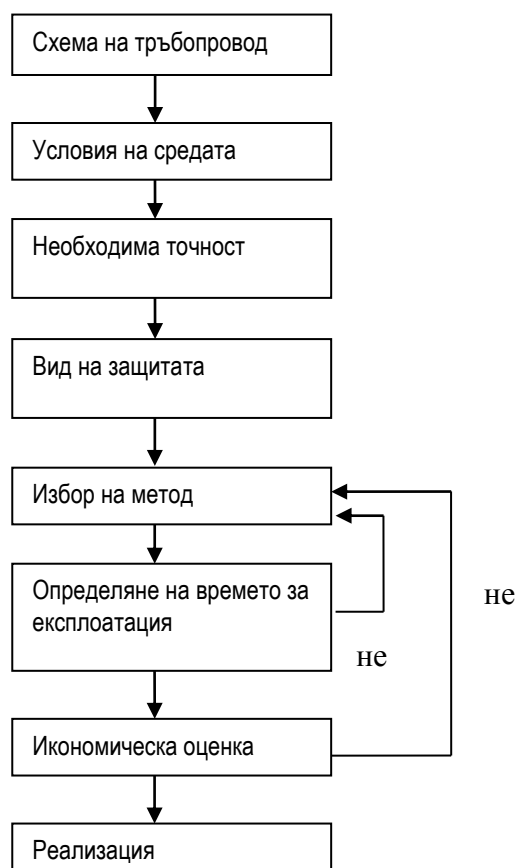
Контролът на датчиците в системите за катодна защита се развиват в следните насоки:

- GPS системи за подаване на информацията
- Компютърна обработка на данните, като обикновено процесорът е на разстояние
- Ниски материални капиталовложения
- Стремеж към ниски материални и енергийни загуби и консумативи
- Съвместяване на няколко датчика в едно устройство
- Едновременно следене на процесите на корозия на два или повече обекта – например проводници и тръби
- Работа на датчиците съвместно с компенсиращи устройства с цел понижаване на грешката
- Изработване на станциите за катодна защита така, че да се спазват правилата за безопасност на живота на обслужващия персонал
- Усъвършенстване на влаганите материали с цел повишаване на точността на работа и понижаване на материалните вложения
- Използване на импулсно захранване с цел намаляване на шумянето
- Поставяне на защитни покрития по повърхността на датчици и електроди с цел повишаване на периода на работа
- Внедряване на различни дизайнерски решения в оформлението на датчиците и електродите с цел повишаване на точността на измерване и повишаване на живота на датчиците

Алгоритъм за избор на датчик.

Съвременните икономически условия налагат тенденциите за ниски материални и енергийни разходи, съчетани с висока точност на процесите. За ефективното използване на един датчик е добре при избора му да се вземат предвид следните страни: схема и размери на изследваното съоръжение, икономичност, точност, условия и период за експлоатация и ефективност. Предимство при икономическата оценка е цената за изработка, поддръжка и експлоатационен живот при зададените условия. При изборът на метод за измерване

важен фактор е желаната точност. Предлагам следния алгоритъм за икономически съобразен избор на датчик.



Предложеният алгоритъм не е перфектен. Той може да се променя в зависимост от промяна на условия, параметри, нормативни изисквания или други фактори.

Изводи

В резултат на направения преглед на тенденциите при проектиране на датчици за измерване на нивото на корозия се може да се обобщи, че галваничните датчици са най-често използване и са най-ефективни. Те имат стабилна структура, която лесно може да бъде изолирана от корозионната среда. Приложими са за различни подземни и надземни условия, при наличие на налягане, агресивни частици на средата, наличие на блуждаещи токове. При експлоатацията на тези устройства са налице и следните предимства:

- ниски енергийни разходи
- съвместяване на няколко датчика в едно т.е. един датчик може да измерва ниво и скорост на корозия и потенциал «тръбопровод -земя»
- ниски материални капиталовложения – производството и поддръжката са евтини
- сравнително дълъг живот
- точността им е средна или висока в зависимост от дизайна

Капацитивните датчици също са подходящи за измерване в подземни условия. Предимствата им са точност, евтини, лесна поддръжка, липса на шум в газообразни среди, приложими – повечето тръбопроводи са електропроводими. Те не се влияят много от температурните промени, универсални са за различни по размери тръби.

Електромагнитните датчици също са евтини, но те нямат дълъг експлоатационен живот. Лесно се монтират и на инсталирани тръбопроводи, дават точни резултати, универсални са за различни по размери тръби.

За нуждите на подземните нефтени и газови тръбопроводи най-подходящи са преките и полевите методи за измерване, базирани на резистивен, капацитивен и електромагнитен принцип. В практиката те най-често са приложими. Цената за поддръжка не е висока и точността е задоволителна.

Литература:

1. Dr. Damaschke, J., Beuker, ., 2006, Calgary, Canada
2. DOWLING, D., (US), WO2006130714 "Apparatus, system and method for extending the life of sacrificial anodes on cathodic protection systems", **Publication date:** 2006-12-07
3. OKAMURA, O.I, US4295092 "Apparatus for and method of detecting and measuring corrosion damage in pipe" **Publication date:** 1981-10-13
4. Белеевский В. С., Егоров И. Ф., RU2185612 "Способ измерения скорости коррозии металлов и сплавов" дата публикации 20. 07.2002г
5. KATO, K., JP2006038835 "Method for measuring corrosion rate of metal and corrosion-proof method for metal using the same", **Publication date:**2 006-02-09
6. ZANKER, K.,(US), US2003101804 "**Ultrasonic meter to detect pipeline corrosion and buildup**", **Publication date:** 2003-06-05
7. KAGE ;S., TAKEMURA, A., FUJITA S., JP2003215024 "Method for predicting amount of **corrosion of metallic material due to galvanic corrosion, life predicting method, metallic material, structure designing method, and method for manufacturing metallic material**" **Publication date:** 2003-07-30
8. Демин Ю. В., Микитинский М. Ш., SU1770839 "Высокочастотный коррозиметр" дата публикации 23.10.1993г.
9. SIRKIS, J., (US), US5367583 "**Fiber optic stress-corrosion sensor and system**", **Publication date:** 1994-11-22,
10. TUBEL ,P., (US); JOHNSON, M., (US); HARRELL, J. (US); LEMBCKE, J. (US); HICKEY K. (US), US7040390 "**Wellbores utilizing fiber optic-based sensors and operating devices**", **Publication date:** 2004-04-08
11. SAKUMA., M., JP2005069883 "Corrosion detecting apparatus", **Publication date:** 2005-03-17

12. KUO, J., (US); BURNETT G.,(US), US6194902 **"Pipe testing apparatus and method using electrical or electromagnetic pulses transmitted into the pipe"**, **Publication date:** 2001-02-27
13. NIELSEN, L., (DK); G. FOLKE (DK) , EP 1571438 **"A method and a system of diagnosing corrosion risk of a pipe or a pipeline in soil"**, - **Publication date:** 2005-09-07
14. Левин В.М., Сурис М.А., Шевчук А.С., Логвинов А. И., Кулаков И.Г., RU 2161789 – "Блок индикаторов скорости коррозии подземных металлических сооружений" дата публик. 10.01.2001
15. Новиков В. Ф., Крылов Г. В., Быков В. Ф., Болотов А. А. , RU2193182 "Способ определения скорости коррозии" дата публикации 20.11.2002г
16. NAKAUCHI , H., JP7333188 "Polarization resistance measuring method of under-film metal and polarization resistance measuring sensor therefore", **Publication date:** 1995-12-22
17. TAKASHI, O.,K. Fumio, JP2005091191 "Method of detecting defective part in coating of embedded metal pipe", **Publication date:** 2005-04-07
18. JOVANCICEVIC, V., (US); S. CAMPBELL (US) , US2005213430 **"High resolution statistical analysis of localized corrosion by direct measurement"**, **Publication date:** 2005-09-29
19. COSTA JORGE E (US), US2003230494 **"Protective ground mat for induced potentials and method therefor"**, **Publication date:** 2003-12-18
20. A.N. Kovalenko¹, A.A. Sedykh · **DETERMINATION OF NECESSARY AND SUFFICIENT NUMBER OF SENSORS IN CASE OF PIPELINES WALLS' STRESS-CORROSION TESTING BY MAGNETIC FIELD LEAKAGE TECHNIQUE** JSC "AVTOGAZ" of OAO "GAZPROM"; Moscow: Russia

Препоръчана за публикуване от катедра
"Електротехника", МЕМФ

ВАЖНИ КРЪГЛИ ГОДИШНИНИ В РАЗВИТИЕТО НА АВТОМАТИКАТА

Георги Радулов¹, Димитър Тодоров²

¹ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: radoulov@mgu.bg

² Териториална организация на НТС-Монтана

РЕЗЮМЕ. Докладът е посветен на важни исторически моменти от развитието на автоматиката. Отбелязани са важни кръгли годишнини в това развитие, които се навършват през 2008 г. По-специално внимание е обърнато на труд на Максвел поставил началото на теория на автоматичното регулиране.

IMPORTANT ANNIVERSARIES IN THE DEVELOPMENT OF THE AUTOMATION

Georgi Radulov¹, Dimitar Todorov²

¹ University of mining and geology "St Ivan Rilski", 1700 Sofia, E-mail radoulov@mgu.bg

² Teritorialna organizaciya na NTS- Montana

ABSTRACT. The report is dedicated of the important historical moments from the development of the automation. Attention is drawn on significant anniversaries which are to be celebrated during the year 2008. Special attention is paid on a work of Maxwell who initiated a theory of the automatic regulation.

Автоматизацията, и като практика, и като теория получи голямо развитие днес. В основата на тези й успехи е залегал трудът на много учени и изобретатели. Този труд е една съкровищница на идеи от която могат да черпят днешните специалисти работещи в областта. Наложила се е практиката да се обръщаме към тези събития при навършването на кръгли годишнини. Според нас през 2008 г. се навършват следните важни кръгли годишнини свързани с развитието на автоматиката:

1. В 1588 г. А. Рамели описва устройство за автоматично подаване на зърното в мелниците, което представлява система с обратна връзка – една от големите идеи в техниката.

2. В 1788 г. Уат приспособява изобретения (1877 г.) от Томас Мийд центробежен регулатор за регулиране скоростта на въртене на вятърна мелница за управление на парните машини.

3. През 1838 г. проф. Чижов, преподавател по механика в Петербургския университет, публикувал курс по теория на регулаторите, който влязъл в учебници и монографии по механика и парни машини.

4. През 1868 г. излиза трудът на Максвел: "За регулаторите" (J.C. Maxwell, On Governors, The proceedings of Royal Society, № 100, 1868, p.105-120.

5. Преди 70 години (1938 г.) А.В. Михайлов в труда си "Хармоничния метод в теория на регулирането", обосновава целесъобразността от използване на честотните методи и предлага нов критерии за оценка на САР.

6. В 1948 г. излиза на бял свят трудът на Н. Винер: Кибернетика Norbert Wiener Cybernetics, John Wiley, New York, 1948.

7. Навършва се половин век от излизането на труда на Kalman "Design of a Self-optimizing Control Systems (1958).

8. В 1968 г. излиза от печат фундаменталния труд на Я.З.Цыпкин "Адаптация, обучение и самообучение в автоматических системах".

Изброените творчески дела имат съществен принос в развитието на автоматиката, като наука и практика. Всеки един от авторите им трябва да получи заслужена оценка от нас последователите им. Всяка от тези важни технически идеи е целесъобразно да бъде анализирана като тласък в развитието на автоматиката. Да се оцени изчерпана ли е докрай или търпи развитие. В това отношение особено внимание заслужават идеите в събитията 6, 7 и 8. За съжаление в един доклад това нещо е невъзможно. Освен това изисква се сериозна теоретична подготовка и задълбочен общ поглед в областта. Тези изисквания са над нашите възможности.

Спираме се на приноса на Максвел в развитието на теорията на автоматичното регулиране, защото поставя начало на задълбочено теоретично разглеждане на проблема за точността и устойчивата работа на автоматични системи.

На инженерите и физиците Максвел е известен най-вече с приносите си в областта на електромагнетизма, но той има съществени приноси в областта на механиката и автоматиката.

Максуел получава задълбочена подготовка в областта на математиката и физиката още като студент. От 1847 до

1850 г. учи в Единбургския университет. Тук самостоятелно се занимава с изследвания в областта на геометрията и механиката. В края на 1850 г. продължава следването си в Кембридж, където изучава математика, физика, механика. Особено внимание отделя на трудовете на Фарадей, Ампер, Лагранж и Хамилтон. Общува с У. Томсън (W. Thomson), Д. Стокс и други известни професори от Университета, оставили съществени следи в неговото развитие. Благодарение на тази подготовка, по-нататък в изследователската си дейност той решава редица теоретични проблеми в различни области на науката. Така през 1868 г. той публикува труда си "За регулаторите" (On Governors).

Идеята за написването на този труд се поражда във връзка с изобретения регулатор от Флеминг Дженкин, колега на Максвел. Настройката на регулатора създавала проблеми и Максвел се заинтересувал от условията за устойчива работа при регулиране. Но той не тръгва изведнъж и случайно към решаването на този проблем.

През 1859 г. Максвел публикува работата си "За устойчивостта на движение на пръстените на Сатурн". Той линеаризира разглежданата задача и обобщава резултатите на Лагранж, отнасящи се до малки колебания на консервативна система около положението на равновесие. Свежда задачата до система линейни уравнения с постоянни коефициенти. Именно тази негова работа генетично е свързана с труда му "За регулаторите". И тук той линеаризира задачата за устойчивост на движението на машина, снабдена с регулатор, чиято скорост се колебае около установеното положение.

В труда си, в обем от 21 страници (в руския превод), Максвел най-напред на 6 страници ни въвежда в проблема. Дефинира понятието регулатор. С няколко думи показва недостатъците на три вида регулиращи устройства (на Сименс, Уат и Дж. Томсън). Според него недостатъкът им се изразява в това, че те не могат да поддържат винаги една и съща скорост, а само намаляват промяната ѝ. За отбелязване е, че той разграничава два вида регулиращи устройства – регулатори и модератори. Под модератор разбира регулатор работещ със статична грешка, към които се отнася и регулаторът на Уат. Вниманието му е насочено към регулатори, които поддържат постоянна скоростта на движение. Това са регулаторите, които днес отнасяме към класа на астатичните. Именно тях Максвел нарича регулатори.

По-нататък формулира целите на изследването. Той пише: "В този труд аз искам да насоча вниманието на инженерите и математиците към динамическата теория на такива регулатори, без да навлизам в каквито и да е детайли, засягащи тяхната конструкция." Разглежда три типа регулатори – а) на Дженкин, б) на У. Томсън и М. Фуко) и регулатор конструиран от Кралската астрономическа лаборатория.

Следващият раздел е озаглавен "Различие между регулатори и модератори". В него авторът ни дава основното уравнение от което по-нататък произтичат изследванията и изводите:

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} = M_d - M_c - F \left(\frac{dx}{dt} - V \right), \quad \text{където}$$

членът $F \left(\frac{dx}{dt} - V \right)$ дава противодействащият момент,

създаван от регулиращото устройство при изменение на съпротивителния или двигателния момент, $\frac{dx}{dt}$ е

действителната скорост, V - нормалната скорост, F – константа, M_d - двигателният момент, M_c – съпротивителният момент (и двата момента са приведени към вала на машината). Когато скоростта е установена, то левият член в уравнението става равен на нула и новата установена скорост ще се определя от израза

$$\frac{dx}{dt} = V - \frac{M_d - M_c}{F}.$$

От тук Максвел прави извода, че при този тип регулатори, щом се промени двигателния или съпротивителния момент на машината, новата установена скорост се различава от нормалната (зададената) с члена $\frac{M_d - M_c}{F}$. Колкото разликата в числителя е по-голяма,

при една и съща константа F , толкова и разликата в двете скорости е по-голяма. Поради тази причина той нарича този тип регулиращи устройства модератори, термин употребен преди него от Сименс.

При втория тип регулиращи устройства, които Максвел нарича регулатори, моментът $F \left(\frac{dx}{dt} - V \right)$, вместо да се

прилага непосредствено към машината, се прилага към независимо движещо се тяло B , което увеличава съпротивителния или намалява двигателния момент с величина зависеща от сумарното преместване на тялото B .

Ако означим с y преместването на тялото B , то уравнението на движението на B ще бъде $\frac{d}{dt} \left(B \frac{dy}{dt} \right) = F \left(\frac{dx}{dt} - V \right)$, а уравнението за движение

на машината, с инерционен момент M , ще бъде $M \frac{d^2 x}{dt^2} = M_d - M_c - F \left(\frac{dx}{dt} - V \right) + G.y$, където

G е съпротивителен момент, пораждан от тялото B , когато то се премества на единица път.

Интегрирайки първото уравнение се получава

$$B \frac{dy}{dt} = F(x - V.t). \quad \text{От което следва, че щом}$$

регулаторът доведе системата в установен режим, то $x = V.t$. Следователно не само скоростта на машината е равна на нормалната (зададената), но и сумарния ъгъл на завъртане на вала на машината ще бъде такъв както и при отсъствие на изменение на двигателния или съпротивителен момент.

На такава база по-нататък съставя уравненията на "хронометричните центробежни регулатори", разглежда работата на регулаторите на Томсън и Фуко, на течността регулатор на К.В.Сименс и др.

В работата си Максвел пише: "Аз не съм в състояние да определя в пълнота тези условия (условията за устойчива работа, б.м.) за уравнения на степен по-висока от трета, но се надявам, че този въпрос ще привлече вниманието на математиците". На заседание на математическото общество той поставя въпроса: "Не може ли някой от математиците да покаже метод за получаване на необходимото и достатъчно условие за отрицателността на действителните части на корените на алгебричното уравнение от n -та степен". Поставената от Максвел задача за устойчивост на движението в окончателен вид е решена (1877 г.) от Е. Дж. Раут(с) (E.Routh), състудент на Максвел. Той е също изявен механик. Достатъчно е да се спомене само това, че написаният от него труд "Динамика на системи от твърди тела" е актуален и се ползва като учебник и до сега.

Десетилетия по-късно, решавайки проблеми за устойчивата работа на система машина – регулатор с непряко действие, с подобен проблем се сблъсква Аурел Стодола. Стодола не познава работите на Максвел и Раус. Той се обръща към своя приятел от Цюрихската политехника, изявеният немски математик Адолф Хурвиц (Adolf Hurwitz), да намери необходимите и достатъчни условия, които трябва да удовлетворяват коефициентите на алгебричното уравнение от n -та степен, за да имат корените му отрицателни действителни части. Хурвиц намира (1893 г.) тези условия в елегантна детерминантна форма. Тези условия наричаме критерии на Раус-Хурвиц.

Макар че се интересувал от технически проблеми, Максвел остава настрана от инженерните проблеми на неговото време. В годината на публикуването на разглежданата работа само в Англия работят 75 000 регулатори на Уат. Въпреки това в труда си той не анализира поведението на системи управлявани с регулатор на Уат, а се занимава с регулатори намиращи

единично приложение при някои физически и астрономически уреди. Така с избора на изследваните видове регулатори той се откъсва от злободневните инженерни проблеми – регулирането на промишлени машини. Това вероятно е основната причина поради която трудът му остава незабелязан и неизползван от инженерите по това време. Те нито в неговите изводи, нито даже в неговите уравнения могли да намерят указания как да се борят с появяващите се в много случаи склонности на системата парна машина - регулатор на Уат към неустойчива работа и самовъзбуждане (саморазколебаване).

Причина за равнодушието на инженерите към важните общи идеи в труда на Максвел е, че те са изпреварили времето. Инженерите не са готови за разработването на обща теория на регулаторите на Уат и така да превъзмогнат натрупаните практически трудности. Освен това структурата на теорията за регулиране приета от Максвел в цитирания труд не съответствала на тези обекти - промишлени парни машини, с регулирането на които имали работа инженерите.

Въпреки казаното появата на трудът на Максвел е крупно събитие за теория на регулирането. Интерес представлява строгата математична постановката на задачата и нейното решение. От особена важност е това, че той поставя проблема за необходимите и достатъчни условия за устойчивост на системите машина – регулатор. Решава този въпрос за алгебрични уравнения до 3-та степен и го поставя пред математиците за решение при по-висока степен.

Литература

1. Максвелл, Д.К., А.И.Вишнеградский, А. Стодола. Теория автоматического регулирования. Издательство Академии наук СССР, 1949.
2. Радулов, Г. История на техниката – еволюция на техническите идеи. София, 2005

СИСТЕМА ЗА АВТОМАТИЗИРАНО РАЗПОЗНАВАНЕ И ОПОВЕСТЯВАНЕ НА НЕДОБРОНАМЕРЕНИ И НЕКОРЕКТНИ ДЕЙСТВИЯ В КОМПЮТЪРНА МРЕЖА

Стефан Димитров¹, Веселин Колев², Веселка Спасова³

¹Софийски университет "Св. Кл. Охридски", 1164-София, e-mail: stefan@ucc.uni-sofia.bg

²Софийски университет "Св. Кл. Охридски", 1164-София, e-mail: vlk@lcpce.uni-sofia.bg

³Софийски университет "Св. Кл. Охридски", 1164-София, e-mail: v_spasova@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Все повече IT системи, приложения и услуги се публикуват в Интернет. Тяхната поява води до появата и на нови заплахи, които експлоатират все по-ефективно пропуските им в сигурността. Целта на настоящата разработка е да се предложи решение за проектиране и създаване на система за автоматизирано разпознаване и оповестяване на недобронамерени и некоректни действия в компютърна мрежа.

Предложението се базира на използване на некомерсиална система Prelude. Намерено е такова решение, чрез което IP адресите на подателите на лоши заявки се извличат от журналния файл prelude.log и да се подават на съответния мрежов филтър (IPTABLES, IPCHAINS и др.) в реално време, за да може да бъде прекъснат по най-бърз начин отговора на лошите заявки, а оттам и натоварването на изходящите линии.

SYSTEM FOR AUTOMATED INTRUSION DETECTION AND REPORTING IN COMPUTER NETWORK

Stefan Dimitrov¹, Vesselin Kolev², Veselka Spasova³

¹Sofia University "St. Kliment Ohridski", 1164-Sofia, e-mail: stefan@ucc.uni-sofia.bg

²Sofia University "St. Kliment Ohridski", 1164-Sofia, e-mail: vlk@lcpce.uni-sofia.bg

³Sofia University "St. Kliment Ohridski", 1164-Sofia, e-mail: v_spasova@abv.bg

ABSTRACT. More and more IT systems, applications and services are published in Internet. This leads to the appearance of new threats that exploit more effectively the breaches in security. The aim of the present paper is to offer solution for a system for automated intrusion detection and reporting in computer network.

The proposal is based on open source system Prelude. Solution is found that in real time the source IP addresses of bad queries are extracted from the log file prelude.log and are entered into the corresponding network filter (IPTABLES, IPCHAINS, etc.). In this way most quickly response to bad queries is broken and overload of output lines as well.

Въведение

Все повече IT системи, приложения и услуги се публикуват в Интернет. Тяхната поява води до появата и на нови заплахи, които експлоатират все по-ефективно пропуските им в сигурността. Целта на настоящата разработка е да се предложи решение за проектиране и създаване на система за автоматизирано разпознаване и оповестяване на недобронамерени и некоректни действия в университетска мрежа [2, 3].

Предложението се базира на използване на некомерсиалната IDS система Prelude [1]. Prelude е продукт, който успешно детектира лоши заявки за определен набор от портове по протокол TCP. Предимството му е, че ако бъде инсталиран и стартиран върху маршрутизатор, той преглежда всички заявки, които преминават от вън към вътрешните мрежи. Prelude по подразбиране не взаимодейства с мрежовите филтри като IPTABLES и IPCHAINS. Т.е. този инструмент има само ролята на статист, наблюдател на заявките, които преминават.

Стратегия за решаване на проблема с лошите заявки

Тъй като самата програма Prelude само регистрира заявките, а не ги игнорира е нужно да се намери такова решение, чрез което IP адресите на подателите на лоши заявки да се извличат от журналния файл prelude.log и да се подават на съответния мрежов филтър (IPTABLES, IPCHAINS и др.) в реално време, за да може да бъде прекъснат по най-бърз начин отговора на лошите заявки, а оттам и натоварването на изходящите линии [9].

Форматът на журналния файл за всяка една лоша заявка е следния:

```
*** Wed Jan 30 14:24:20 2002 - Wed Jan  
30 14:24:23 2002
```

```
Plugin : HttpMod  
Author : Yoann Vandoorselaere  
Contact : yoann@mandrakesoft.com  
description : Snort based http decode  
plugin.  
kind : May not be reliable  
received : 6 times
```

```

message : ISS Unicode attack detected

Ether hdr : 0:40:95:34:40:8d ->
0:80:ad:b:b:4b [ether_type=ip (2048)]
Ip hdr : 62.158.170.2 -> 62.44.103.64
[hl=20,version=4,tos=22,len=185,id=125
82,ttl=113]
Tcp hdr : 3678 -> 80 [flags=PUSH ACK,
seq=1232543859,ack=1830423927,win=9520
]
Data hdr : size=145 bytes

Data hexadecimal dump follow :
47 45 54 20 2f 6d 73 61 64 63 2f 2e 2e
25 35 63 GET /msadc/..%5c
2e 2e 2f 2e 2e 25 35 63 2e 2e 2f 2e 2e
25 35 63 ../..%5c../..%5c
2f 2e 2e 35 35 2e 2e 2f 2e 2e 63 31 2e
2e 2f 2e /..55../..c1../.
2e 2f 2e 2e 2e 2f 77 69 6e 6e 74 2f 73
79 73 74 ./.../winnt/syst
65 6d 33 32 2f 63 6d 64 2e 65 78 65 3f
2f 63 2b em32/cmd.exe?/c+
64 69 72 20 48 54 54 50 2f 31 2e 30 0d
0a 48 6f dir HTTP/1.0..No
73 74 3a 20 77 77 77 0d 0a 43 6f 6e 6e
6e 65 63 st: www..Connec
74 69 6f 6e 3a 20 63 6c 6f 73 65 0d 0a
0d 0a 6e tion: close...n
65 63 74 69 6f 6e 3a 20 63 6c 6f 73 65
0d 0a 0d ection: close...
0a .

```

Това, което е нужно да се извади от тази порция информация, добавяна всеки път при детектиране на лоша заявка, е да се извлече реда започващ с "Ip hdr" и той да се обработи така, че от него да се извлече първия IP адрес (напр. в горния пример това е 62.158.170.2). След това информацията за този адрес трябва да се подаде на инсталирания на текущия рутер мрежови филтър, за да може да се спрат всички заявки от този адрес, както тези предназначени за адреса на рутера, така и тези предназначени за адреси, които той рутира.

Решение на проблема

За следене на лошите заявки в реално време се използва инструмента tail с опция -f, който регистрира всяка нова промяна в журналния файл prelude.log. След това потокът от tail -f се подава на обработващ скрипт. Скриптът е написан на Perl и в него става цялата обработка на данните, включително предаването на IP адреса на източника на лоши заявки към мрежовия филтър.

Идеята, заложена в написването на скрипта е следната. В постъпващата от tail -f информация се търси ред, който да съдържа низа Ip hdr. След намирането на този ред той се подлага на обработка, която включва разделянето му на полета чрез сепараторите : и ->. Очевидно е (от формата на информацията в журналния файл prelude.log), че IP адреса на източника на лошите заявки попада точно между

тези два сепаратора и така се извлича като низ (string). След като вече е отделено това поле, то може да се предаде на IPTABLES. При включване в мрежовия филтър IPTABLES се използва включване на правилото преди другите за дадена верига с помощта на -I. Ако бъде прибавен в края на дадената верига с -A, то няма да влезе в сила, ако преди него има други правила, които позволяват лошите заявки да бъдат пропускани.

Необходимо е да се направи и проверка дали даден IP адрес, който ще се прибавя, вече не е прибавен, за да не се повтаря една и съща политика за един IP адрес в рамките на дадена верига. За целта се създава база от данни, която се съхранява във файл. Когато в prelude.log се създаде нов запис за нарушител и се извлече неговия IP адрес, то се прави проверка дали адреса вече не е попадал в базата от данни. Ако е попадал там, не се прави повикване на мрежовия филтър, за да не се повтаря запис. След тази проверка GUI приложение уведомява потребителя за прихванатия 'лош' адрес и го пита дали да бъде блокиран т.е. дали да се подаде на мрежовия филтър.

Процесът, който ще изпълнява този скрипт, трябва да премине във фонов режим.

Заклучение

Използваната в настоящата работа система за откриване на нарушители Prelude предлага широки възможности за развитие, което ѝ гарантира дълго присъствие на пазара. Prelude IDS развива своя подсистема за контрамерки, която позволява работа с активни отговори (active response), получени автоматично в резултат на новопоявило се съобщение за атака. Така става възможно спиране на атака, която е започнала, или предотвратяване достъпа на известни 'враждебно-настроени' хостове до защитената мрежа.

Цитираните по-горе възможности, както и разработеният скрипт за филтриране на лоши пакети показват, че Prelude успешно отговаря на появилите се нужди от системи за защита от нарушители IPS (Intrusion Prevention Systems). Може да се направи заключението, че Prelude е един некомерсиален IDS продукт с IPS характеристики, който успешно се използва за осигуряване сигурността на дадена мрежа и отговаря на съвременните изисквания за такива продукти [4, 5, 6, 7, 8].

Литература

1. Prelude official site: <http://www.prelude-ids.org>
2. Bace R., Meil P., "Intrusion Detection Systems", NIST Special Publication on IDS, <http://csrc.nist.gov/publications>, Nov 2001.
3. Bace R., "An Introduction to Intrusion Detection and Assessment: for System and Network Security Management", ICSA White Paper, 1998.

4. Zaraska K., "IDS Active Response Mechanisms: Countermeasure Subsystem for Prelude IDS", Technical Report (2002)
5. Zaraska K., " Prelude IDS: current state and development perspectives ", Technical Report (2003)
6. Blanc M., Oudot L., Glaume V., "Global Intrusion Detection: Prelude Hybrid IDS," Technical Report (2003)
7. Scarfone K., Mell P., "Guide to Intrusion Detection and Prevention Systems (IDPS). Recommendations of the National Institute of Standards and Technology."
8. Tambrin C., "Integration of Intrusion Detection Systems (IDS) in Network Management", 2002
9. <http://lcpe.uni-sofia.bg/linuxdoc/prelude/>

Препоръчана за публикуване
от Редакционен съвет

NO-LOAD RUNNING OF ELECTRIC TRANSFORMERS

Cristinel Popescu, Vasile Cozma

University „Constantin Brâncuși” Târgu Jiu

ABSTRACT: By the no-load running of electric transformers we understand that service where electric power is not released through the transformer to consumers, the transformer secondary winding being open reason why the power in this winding is zero ($i_2=0$).

Key words: Electric transformer, magnetic flow, vectorial diagram, magnetic field, parameters, no-load running, transformation report.

РАБОТА БЕЗ НАТОВАРВАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ ТРАНСФОРМАТОРИ

Кристинел Попеску, Василе Козма

Университет „Константин Бранкуш”, Търгу Жиу

Резюме: Под работа без натоварване на електрически трансформатор разбираме това обслужване, когато електрическата енергия не се отделя през трансформатора за консуматорите, вторичната намотка на трансформатора е отворена и по тази причина мощността в тази намотка е нула ($i_2=0$).

Ключови думи: Електрически трансформатор, магнитен поток, векторна диаграма, магнитно поле, параметри, експлоатация без натоварване, трансформиране.

Introduction

Due to the fact that the secondary winding is open ($i_2=0$), in this status the transformer is a magnetic core coil connected to the nominal u_1 voltage rating. The presence of two windings causes the decomposition of the magnetic flow, created by the primary winding of the transformer, in two flows – the main magnetic flow Φ_0 and the dispersion flow $\Phi_{\sigma 1}$. The flow Φ_0 is a mutual induction flow closed through the magnetic core and inducing in the primary and secondary windings of the transformer, accordingly t.e.m. Of self-induction E_1 and t.e.m. Of mutual induction E_2 , displaced after (Φ_0) by 90° .

The equation of no-load running of electric transformers

The dispersion flow $\Phi_{\sigma 1}$ and magnetic flow Φ_0 are created by one and the same t.m.m. $w_1 i_{10}$, and the flow is $\Phi_{\sigma 1}$ much lower than Φ_0 . This happens because $\Phi_{\sigma 1}$ closes through the air, meaning through the environment with a high magnetic reluctance and that is why in the case of no-load running it is only around 0,25% from Φ_{0m} . Besides, the flow Φ_0 is split with the established angle α comparing to t.m.m. $w_1 i_{10}$ (comparing to the current i_{10} respectively), due to the losses through eddying flows and hysteresis from the magnetic circuit (the transformers magnetic core). Due to the absence of

the losses in the air $\Phi_{\sigma 1}$, the flow is in phase with t.m.m. $w_1 i_{10}$ (with the current i_{10} respectively).

The dispersion flow $\Phi_{\sigma 1}$ connects only to the spirals of primary winding and induces in it dispersion t.e.m., established by the relation:

$$e_{\sigma 1} = -w_1 \frac{d\Phi_{\sigma 1}}{dt} = -\frac{d\psi_{\sigma 1}}{dt} \quad (1)$$

This is self-induction t.e.m. $e_{\sigma 1}$. The total dispersion flow $\psi_{\sigma 1}$ is in proportion with the no-load running current i_{10} , meaning:

$$\psi_{\sigma 1} = L_{\sigma 1} i_{10} \quad (2)$$

where it results:

$$e_{\sigma 1} = -L_{\sigma 1} \frac{di_{10}}{dt} \quad (3)$$

where:

$L_{\sigma 1}$ - primary winding dispersion inductivity.

Inductivity $L_{\sigma 1}$ is constant in size, because the flow $\Phi_{\sigma 1}$ is closed through air.

T.e.m. Induced by the dispersion flow adequately causes the inductive fall of equal voltage and opposed to it in sign, meaning $e_{\sigma 1} = -u_L$. If we apply the symbolic method we get:

$$\underline{E}_{\sigma 1} = -\underline{U}_{L1} = -jX_{\sigma 1} I_{10} \quad (4)$$

where:

$X_{\sigma 1}$ - dispersion reactance of primary winding.

Primary winding has active resistance R_1 . In this case, if R_1 and $X_{\sigma 1}$ are known, we can establish the equivalent scheme of the transformer for the no-load running, which contains only the parameters of primary winding (fig.1).

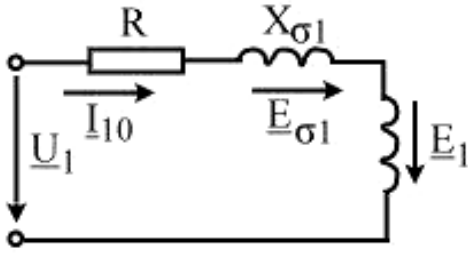


Fig.1 The equivalent scheme of the transformer at the no-load running which contains only the parameters of primary winding

If we introduce the i_{10} equivalent sinusoidal current, in the equivalent scheme, according to Kirchhoff's 2nd law, we establish the equilibrium equation of t.e.m. Momentary values and voltage drops:

$$e_1 + e_{\sigma 1} = R_1 i_{10} - u_1 \quad (5)$$

where it results that:

$$u_1 = -e_1 - e_{\sigma 1} + R_1 i_{10} \quad (6)$$

By representing in complex, the equation (6) in complex form becomes:

$$\underline{U}_1 = -\underline{E}_1 - \underline{E}_{\sigma 1} + R_1 \underline{I}_{10} \quad (7)$$

After replacing the relation (4) in the equation (3.7) we get:

$$\underline{U}_1 = -\underline{E}_1 + R_1 \underline{I}_{10} + jX_{\sigma 1} \underline{I}_{10} = -\underline{E}_1 + \underline{I}_{10}(R_1 + jX_{\sigma 1}) = -\underline{E}_1 + \underline{Z}_1 \underline{I}_{10} \quad (8)$$

where:

$\underline{Z}_1 = R_1 + jX_{\sigma 1}$ - total complex impedance of primary winding.

Equation (8) allows to build the vectorial diagram of the transformer at the no-load running, which is the graphic solution of this equation (fig.3).

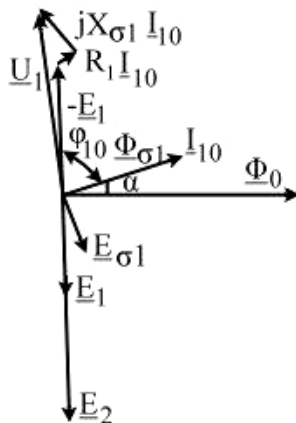


Fig.2 Vectorial diagram of transformer at the no-load running

The vectorial diagram construction begins at the main magnetic flow phasor Φ_0 . With an angle of 90° we traced

behind the phasor Φ_0 , the t.e.m. Induced E_1 și E_2 . The current I_{10} is split before the magnetic flow Φ_0 with an angle α due to energy losses in the magnetic core and is in the phase with the dispersion flow $\Phi_{\sigma 1}$, which mainly closes through the air, where there are no losses. The 90° angle helps tracing the flow phasor $\Phi_{\sigma 1}$ the t.e.m. Dispersion phasor is traced $E_{\sigma 1}$. Further, for getting the voltage phasor \underline{U}_1 , it is necessary to continue the construction, which represents the equation graphic solution (8).

For this purpose, the phasor representing t.e.m. E_1 , is built reversely (E_1 in the equation 8 has the minus sign), and it is added the phasor of voltage active drop $R_1 I_{10}$ on the resistance R_1 and the phasor of the voltage reactive drop $X_{\sigma 1} I_{10}$ on the dispersion reactance $X_{\sigma 1}$. The Voltage drop $R_1 I_{10}$ is in the phase with the current I_{10} , and the drop is $X_{\sigma 1} I_{10}$ split before by 90° . The phasor of the voltage reactive drop $X_{\sigma 1} I_{10}$ equals the phasor representing $E_{\sigma 1}$ in size and sense.

From the vectorial diagram, we notice that the phase difference between the U_1 voltage and the current I_{10} almost equals 90° . Consequently, the **no-load running transformer can be analyzed as an almost purely inductive character consumer, which makes the network power factor stronger**. We have to underline that the no-load running current is much lower than the I_{1n} nominal current meaning $I_{10} = (3 \div 10)\% I_{1n}$.

If we take into consideration the low value of the no-load running current and that active resistances of the transformer windings are much lower (three times lower than the reactance), we notice that in comparison with t.e.m. E_1 voltage drop is $R_1 I_{10}$ visibly lower. Secondly, $\Phi_{\sigma 1}$ is around 0,25%

Φ_{0m} , so that $\underline{E}_{\sigma 1} = -jX_{\sigma 1} \underline{I}_{10} \ll \underline{E}_1$. In this case, the voltage drops on the resistance and the reactance of primary winding reactance, can be neglected and the equation (8) has the form:

$$\underline{U}_1 \approx -\underline{E}_1 \quad (9)$$

meaning for the no-load running, the U_1 voltage is balanced almost entirely with t.e.m. E_1 . Considering these, in fig.3 it is presented the simplified vectorial diagram of the transformer in the no-load running.

t.e.m. E_1 and E_2 phasors are in phase, because they are induced by one and the same magnetic flow Φ_0 . The difference between their sizes is due to the number of curls included in the primary and secondary windings.

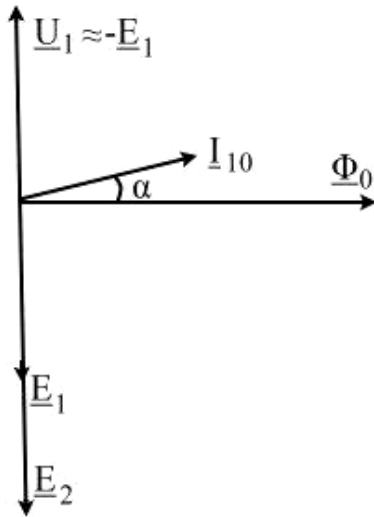


Fig.3 Transformer simplified vectorial diagram in the no-load running

Because in the no-load running no current passes through the transformer secondary winding, voltage drop cannot be obtained. Therefore, the voltage measured at the terminals of the secondary winding equals induced t.e.m., meaning:

$$\underline{U}_{20} = \underline{E}_2 \quad (10)$$

If we consider the equalities (9) and (10) for the transformation report, we get:

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} \approx \frac{U_1}{U_{20}} \quad (11)$$

The experimental establishment of the transformation report is based on this dependence. From the same dependence (11)

it results that in the no-load running, the transformer can be used for the transformation in a relatively exact report of high voltages into lower voltages for measuring them with common voltmeters. The transformers specially built for this are called voltage measurement transformers. In practice, very often, besides these transformers in high voltage circuits, different protection or control devices are also included.

Conclusions

In the no-load running status, the transformer can be examined by the consumer with an almost inductively character which makes the network power factor worse. Due to the low power factor $\cos \varphi_{10}$ and the low current at the no-load running I_{10} , the active power $P = UI \cos \varphi_{10}$ consumed by the transformer in this service is low. Because in the no-load running service the transformer does not release power to consumers ($I_2=0$), it results that **the active power P_{10} absorbed from the network is lost in the transformer, meaning P_{10} represents the active power losses in the transformer at the no-load running.**

References

1. V. Cozma, C. Popescu, ș.a.–Electric transformer – Theory and applications, Sitech Publisher, Craiova, 2005;
2. V. Cozma, C. Popescu, ș.a.–Electric machines, asynchronous machines, Sitech Publisher, Craiova, 2005;
3. V. Cozma, C. Popescu, ș.a.–Electric Devices and Machines, Sitech Publisher, Craiova, 2007;
4. C. Popescu, V. Cozma, ș.a.–Electrotechnics and Electric Machines, Sitech Publisher, Craiova, 2008.

COAL – THE MAIN ENERGETIC RESOURCE AT NATIONAL AND WORLD LEVEL

Cristinel Popescu, Vasile Cozma

University „Constantin Brâncuși” Târgu Jiu

ABSTRACT. In the near future, the fossil energetic coal, oil and gas shall have the highest weight in energetic resources. Coals continues to be the main energetic resources for making electric power all over the world.

Key words: Coal, energetic area, natural resources, solid fuel, energetic technologies, energetic system.

ВЪГЛИЩАТА – ОСНОВНАТА ЕНЕРГИЙНА СУРОВИНА НА НАЦИОНАЛНО И СВЕТОВНО НИВО

Кристинел Попеску, Василе Козма

Университет „Константин Бранкуш”, Търгу Жиу

Резюме. В близкото бъдеще изкопаемите горива, нефта и газа ще имат най-голяма тежест като енергийни ресурси. Въглищата продължават да бъдат основния енергиен източник за получаване на електроенергия на всякъде по света.

Ключови думи: Въглища, област от енергетиката, твърди горива, енергийни технологии, енергийна система.

Introduction

The increase of the global request for energy is generated by the demographic increase and by the process of increasing the economic difference in the third world countries. In this case, more energy would solve global problems, especially social ones, taking into consideration that, nowadays, almost 2 billion people do not have access to the so called commercial energy. Under this economic and ecologic aspect there is a request for continuous and sustained improvement of the energetic efficiency, by researching and developing new energetic technologies because the production and consumption of energy is among the significant indicators of the civilisation level reached in every country's development, being frequently used in international comparisons.

The energetic field has a strategic significance for every state, as the economic and social development depend undoubtedly of it. We cannot conceive a modern economy in evolution without an efficient energetic field, capable to provide and support different economic branches and social development with energy. Due to the impact it has in the economic, political and social, ecologic field, the problem of energy has become the major imperative of world economy, being of concern in all the states.

Coal as the main source in the world energy production

The demographic forecast appears as an increase of the planet population of almost 6 billion to almost 8 billion in 2020. In its estimations, The World Energy Council supposes an increase by more of 50% of the electric power by 2020. This forecast is seen as a careful estimation, because it supposes,

among others, that the developing countries and Eastern European countries shall rapidly reach to the standard of energetic efficiency with an already high level in the Western industrialized countries.

The estimation of the International Energy Agency, AIE, until 2020, certifies at the same time that for solving the issue of a sufficient reserve of energy in the case of energetic consumption increase, there is not necessary to make any major structural changes between energetic resources.

The contribution of unconventional resources, like the wind, the sun, the water, the biomass, shall absolutely increase, but shall play a minor part in the future.

A restructuration of energetic systems for alienating fossil resources seems possible, in the view of the last Energy World Conference, not later than the second half of the future century, and only if adequate efforts shall be made immediately. At the same time, forecasts imply also the fact that energetic policies options require a provision of global energetic resources. Of the entire volume of energetic resources identified by geologic exploitations over 12.400 billion te.c (coal equivalent tones), almost 90% (meaning 11.580 billion te.c) are potential resources and only approximately 10% are economically exploitable resources. Therefore, nuclear cola and fuel together with water shall be the basis for producing electric power and the future increase of the request for energy shall lead to an increase of the global production of coal. This is supported by the fact that, in comparison with the global request of primary energy, the electric power request shall powerfully increase and coal will make a contribution to the production of electricity by over 50%.

The coal market shall know structural alterations in the future, while the economic increase rates in the third world

countries shall be significantly higher than those in the advanced countries. Coal is an attractive source of energy both in third world countries and the developing ones, in the industrialized ones, at the same time with a global increase of the consumption of coal, the lignite shall win some field. The mine industry in Europe and in other countries in the world undergoes significant structural changes, therefore due to the decline of the mine activity in Europe, at present the most significant trend is represented by the geographic movement of the coal extractions activities towards the Latin America, Australia and Asia. In this context, the increase of coal imports in Europe can especially be explained by the continuous decline of the pit coal production in the EU countries (from 105 Mtcc in 2000, at cca 70 Mtcc in 2020). In general the coal world market and thus the pit coal world market shall be high. We can say that given the powerful increase of the energy request and the lack of alternatives, we need a general agreement that the coal shall play an important part as a source of energy, for covering the need for energy until 2020. Therefore, coal is and shall remain the main energy source with a future.

The status of the world consumption of fuels for energy is structured as follows (fig.1)

• oil	38%
• coal	26%
• natural gases	24%
• nuclear fuel	6%
• renewable	6%

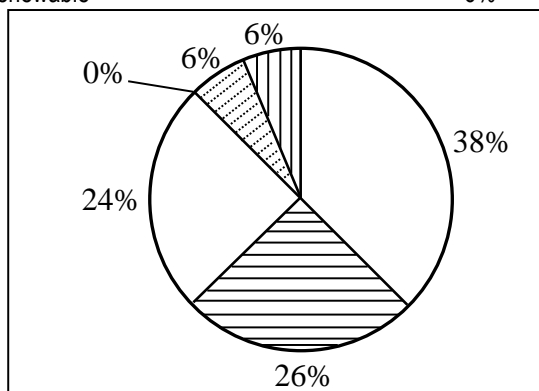


Fig.1 The status of the world fuels consumption

The status of the fuels consumption in Europe (15 states) is structured as in (fig.2):

• oil	40%
• coal	15%
• natural gases	24%
• nuclear fuel	15%
• renewable	6%

The enlargement of the European Union, brings the issue of coal in political debates upon the energy supply in Europe that would redefine the solid fuel as a primary source of energy for a long term.

For implementing the Kyoto Protocol (1997), it is necessary to develop the world climate protection policies, without exercising discriminations against coal.

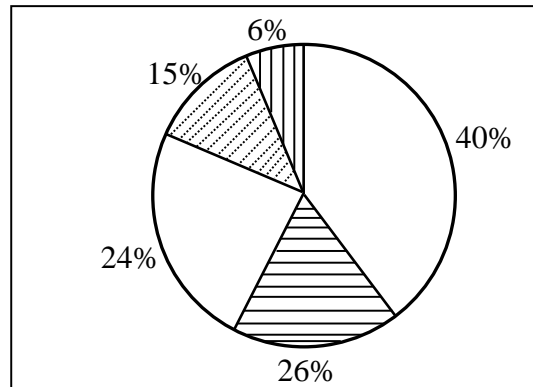


Fig.2 The status of the consumption of fuel for energy in Europe

The trade with emissions is a way through which greenhouse gases emissions can be reduced, without excessively disturbing the energy market.

The debates regarding the Clean Technologies of Coal for generating coal based electricity, has an enormous potential for innovation. Even at present, steam power plants can reach output levels over 40% for lignite and approximately 45% for pit coal, and therefore the priority is to create favourable conditions for modernization, there is a huge potential for reducing the CO2 emissions by investing in modern technology.

We mention that almost all lignite and pit coal producers in Europe, both in the Community of the 15 member states in the European Union and within the EU adhering countries are now members of the European Association of Coal and Lignite EURACOAL, to which Romania is affiliated.

The role of coal in energy production in Romania

Investments and SEN safety has allowed for the Balkanic Area to EU, as Romania became a full rights member from the energetic point of view ever since 2004.

Recently, the reorganization and restructuring of lignite based electric power production has been achieved, by creating Energetic Complexes (CE), at Rovinari, at Turceni and Craiova, where lignite quarries are integrated as cost centres of the energy producer. Table 1 indicates the energy production for the period 2005-2020 in Romania.

Considerations referring to the use of internal energetic resources at big burning plants in Romania are the following: coal (lignite, pit coal) existent in our country is used by great steam power plants (CTE) of the national energetic system provided with performant plants for producing electric power; natural gases in the country and from import, meaning the main fuel taken into consideration for providing the primary energy for medium term in Romania suppose the extension and development of transport networks, underground storage spaces; burning oil import is a significant issue on an unpredictable market.

Based on the analyses established due to the improvement trends in the last few years, the actual significant aspects regarding the Romania extractive industry are as follows:

- The natural resource, meaning that coal provides a great part of the

necessary raw materials for the energetic field, which has an enough absorption capacity on the internal market;

➤ There is a significant capacity potential, partially worn from the physical and moral point of view and incompletely used, with a structure that is insufficiently adapted to the new competitiveness and safety requirements, in comparison with the EU producers in other developed countries;

➤ The performances of devices and technologies can be substantially improved, through an accelerated effort of re-technologization and selective modernization of the production capacities that have real chances of viability;

➤ Qualified manpower and technical specialities comparable to that in developed countries are available, etc.

Table 1 (Gwh)

Total production	2005	2010	2015	2020
	76000	88000	102000	112000
Steam power plants	74500	86300	100000	110000
Other producers	1500	1700	2000	2000
Hydroelectric power plants	13700	14200	14600	15000
Coal steam power plants	31000	33000	35000	35000
Hydrocarbons and nuclear steam power plants	29800	39100	50400	60000

For a long time, coal has been the energetic resource for Romania. The status of the fuels consumption for energy in Romania has the structure as in (fig.3)

- burning gas 3%
- coal 38%
- natural gases 16%
- nuclear fuel 11%
- renewable 28%
- other conventional sources 4%

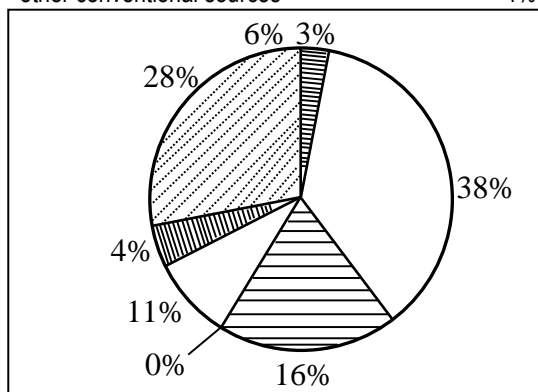


Fig.3 The status of fuel consumption for Romania

Under the conditions of a tight competition on the energetic market, when the ecologic restrictions are unfavourable for energetic complexes, in Romania, where the main solid fuel is the lignite, when the price for solid fuels, natural gases and oil products respectively is continuously increasing, the economic agents of energetic complexes are seeking to take improved organization measures for a technical and technological restructuring. These measures aim finally the decrease of the specific cost of energy especially due to the decrease of the cost of lignite. The lignite extracted in Romania has a less caloric power than the one processed in other European countries, with a high content of ash, and the CTE output is lower comparing to the output of those using pit coal or hydrocarbons. Lignite based energy production in the lignite quarries has the following advantages: production costs closed

to the burning oil production ones; providing the internal resources and reducing hydrocarbons imports; lower investments comparing to the nuclear energy groups for hydroelectric steam power plants with the same installed power; providing employment in the area and thus solving an important social aspect; cancelling the dependence on electric power imports; the possibility to produce thermal energy in cogeneration; environment issues minimization in current technologies.

The adaption of surface mining in Romania to the requirements of the market economy, under the conditions of some major issues of technological and old endowments with quarry machines can be made through a group of restructuring measures and actions aiming the managerial, technological, but especially technical, mining and ecologic components.

European directives focused on the mining activity

The main instruments for transposing European legislations requirements into those of Romania are the European goals. Among the European goals with an impact upon the mining legislation for extracting useful substances we mention: 94/22/CE Directive for the conditions for granting and using permits for hydrocarbons exploitation; 92/91/CE Directive referring to the minimum requirements for improving the employees' safety on the branches of extractive industry; Directive proposal for the waste management in extractive industry.

Conclusions

In the future, coal shall have the main part in producing electric power.

An active energy saving policy shall be applied rather than that of producing it, through a complex process of replacing

energy consuming technologies and by restructuration of the economy.

Internal resources availability is: lignite for the following 60 years at a 30-35 million tones/year production in surface exploitations and 3,5 million tones of pit coal in exploitation from the Jiu Valley underground.

Recommended for publication
of Editorial board

References

- [1]***European Communitarian Acquis requirements
- [2]***CESCO Consultative Committee Statement regarding the Role of Coal in 21st century Europe (July 1999)
- [3]***EUROCOAL Report – PATROMIN Magazine
- [4]***Law 3/2001 The ratification of the Kyoto Protocol at The Convention of the United Nations On climatic changes
- [5]Orban M.Coal as the main energy producing source
Popescu C.World and National Electric Power – Mines magazine

ELECTRIC TRANSFORMERS PARALLEL WORKING

Vasile Cozma, Cristinel Popescu

University „Constantin Brâncuși” Târgu Jiu

ABSTRACT. The electric transformers parallel working provides the continuous supply with electric currents of electric consumers, therefore, in the case of fault for the one of the transformers, the load is taken over by the other transformers and the consumers electric power is not interrupted, thus providing one of the vital conditions for their working and namely their operating safety.

Key words: Operating safety, parallel working, transformation report, connections group, short circuit voltage.

ПАРАЛЕЛНА РАБОТА НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ

Василе Козма, Кристиinel Попеску

Университет „Константин Бранкуш”, Търгу Жиу

РЕЗЮМЕ. Паралелната работа на електрическите трансформатори осигурява непрекъснато подаване на електрически ток към консуматорите, следователно, в случай на неизправност на един от трансформаторите, натоварването се поема от останалите трансформатори и не се прекъсва подаването на електрическа енергия, като по този начин се осигурява едно от основните изисквания за работа, а именно безопасна експлоатация.

Ключови думи: безопасна експлоатация, паралелна работа, група на свързване, напрежение на късо съединение.

Introduction

For the working of transformers with a good power factor and high output, it is necessary that their loads be close to the nominal ones.

The transformers load alters at certain hours during the day and night and in different seasons of the year. For an economic operation, instead of one, two or more transformers are mounted which work in parallel during the highest load. When the load decreases, some transformers are disengaged, so that the working transformers operate at a load close to the nominal one.

Electric transformers work in parallel, when their primary windings are supplied from the same source of energy, and their secondary windings are connected to the common bars where the consumers network is supplied.

Conditions for a parallel working of electric transformers

Fig.1 indicates the parallel working scheme of two mono-phasic transformers.

In order not to have circulation currents between transformers and the load be distributed among the transformers working in parallel to their nominal power, when they are coupled in parallel the following conditions have to be met:

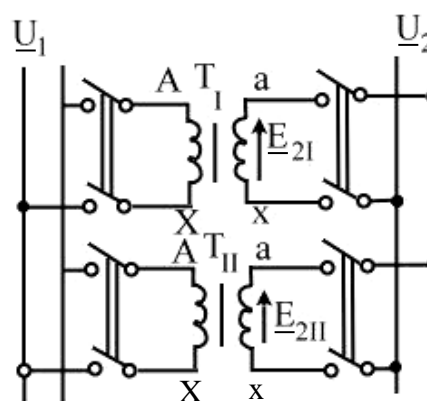


Fig.1 The parallel working scheme of two mono-phasic transformers.

1. primary and secondary nominal voltages of the transformers have to be equal ($U_{1nI}=U_{1nII}=U_1$; $U_{2nI}=U_{2nII}=U_2$). This condition is practically met by equalling the transformation reports, meaning $k_I=k_{II}$;
2. tri-phased transformers must have the same groups of connections.
3. The short-circuit nominal voltages of the transformers have to be equal, meaning: $u_{kIn} \% = u_{kII n} \%$ their active and inductive components respectively be adequately equal;
4. identical marked terminals of the transformers windings be connected to the same network conductor, both on the primary part and on the secondary part;

If the parallel coupled transformers comply with all the conditions, their vectorial diagrams at the load working built in relative units they come one over another. In this case, all the transformers are loaded with proportional loads with their nominal powers, and the transformers load currents are arithmetically summed. Practically, only the second condition has to be thoroughly met, for the first and third conditions tolerances being accepted. Besides, the sum of their loads does not have to be higher than the sum of their nominal powers.

If the aforementioned conditions are met, t.e.m. E_{2I} and E_{2II} induced in transformers secondary windings (fig.1) are in phase and equal in size, and there are no equaling currents in the transformers windings.

If the first condition is not met – **the equality between the transformation reports**, the equalization current appears, which is conditioned by the difference between the secondary t.e.m., meaning:

$$I_{eg} = \frac{\Delta E}{Z_{KI} + Z_{KII}}$$

where:

Z_{KI}, Z_{KII} - transformers internal reactance.

At the transformers loading, the equalization current is overlapping with the load one. Moreover, the secondary higher t.e.m. transformer (at the pit transformers – with lower transformation report) is overloaded and the higher transformation report transformer is under loaded.

Because overload is not admitted, it is necessary to reduce the common load of transformers. If the difference between the transformation reports is considerable, it becomes practically impossible for the transformers to work in parallel. This is why, according to standards, the parallel coupling is admitted for transformers, where the difference between their transformation reports is not more than 0,5% in comparison with the average geometric value of these reports, meaning:

$$\Delta k\% = \frac{k_I - k_{II}}{\sqrt{k_I \cdot k_{II}}} \cdot 100\% \leq 0,5\%$$

If the second condition is not met - **tri-phased transformers have the same group of connections** - the line secondary t.e.m. of the two transformers are detached one from the others with a multiple angle of 30° .

For example, if a transformer has 0 group, and the other 11 group, their line t.e.m. are split one from the other by 30° (fig.2), resulting $\Delta E = 0,52E_2$, for which the equalization current reaches a higher value and the transformers parallel working is not possible.

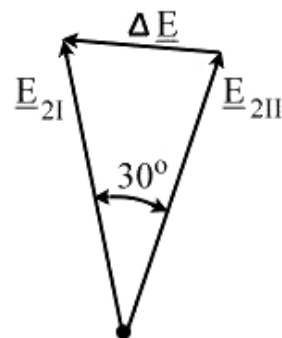


Fig.2 Vectorial diagram of t.e.m. in the case of transformers with connection groups 0 and 11, which will be coupled in parallel

We have to take into consideration that by adequately permuting the windings terminals, in some cases we can achieve the parallel working of transformers with different groups of connections. Fig. 3 displays the scheme of parallel connection of two tri-phased transformers.

If the parallel working conditions are met, the voltmeters indications V_1 and V_2 are zero. These voltmeters have to have their field not smaller than the double value of the network voltage.

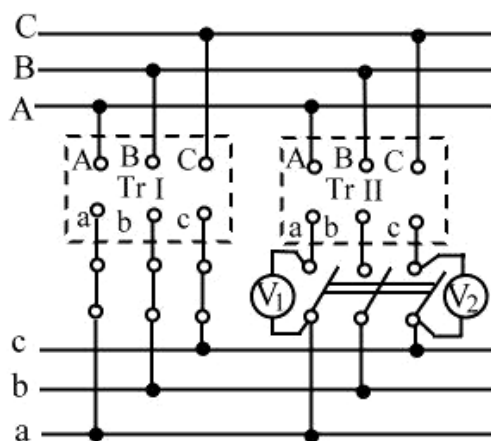


Fig.3 The scheme of parallel connection of two tri-phased transformers. .

If only the third condition is not met – **the equality of the short-circuit nominal voltages**, the load is not distributed in proportion with the nominal powers of transformers. The external characteristic of the transformer with higher $u_k\%$, is strongly sloped for the abscissa axis (the external characteristic of the transformer T_{II}) in comparison with the transformer with lower $u_k\%$ (fig.4).

For one and the same secondary voltage U_{2s} for the second transformer in load, the T_I transformer is loaded with higher current than the T_{II} transformer. In order not to reach the T_I overloading, one has to reduce the common load, which does not use the entire power of transformers working in parallel.

If one takes into consideration that not always we can choose transformers with the same $u_k\%$, the standards admit the parallel connection of the transformers with a difference between the short-circuit voltages without overcoming $\pm 10\%$ of their arithmetic mean value.

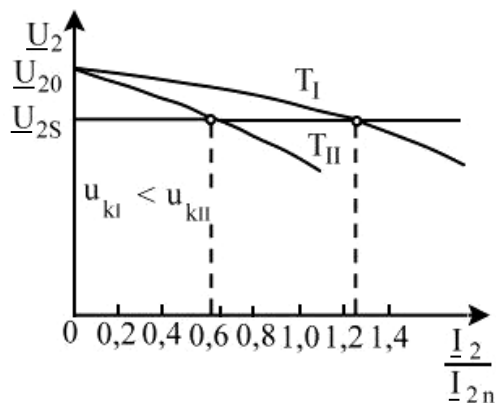


Fig.4 External characteristics of the two transformers coupled in parallel

The difference between the components of relative voltages at short-circuit is higher the higher the difference between nominal powers of transformers is. That is why for the parallel working it is recommended for the report between the nominal powers of transformers not to be higher than 3:1.

If the fourth condition is not met ($E_{2I} \neq E_{2II}$) in the closed circuit of secondary windings acts the resulting t.e.m. ΔE , equal with the difference between E_{2I} and E_{2II} . Because the circuit impedance is relatively small, under the t.e.m. action ΔE , the equalization current going through the secondary windings of transformers reaches considerable values even when the load is decoupled.

At the transformers loading, the equalization current adds to their load current and leads to overloading. Moreover, it fault is possible. This is why before the transformers parallel coupling one checks whether t.e.m. E_{2I} and E_{2II} are in phase and equal in size. For supplying the parallel winding of the transformer coupling to work in parallel, in its secondary winding a voltmeter or electric lamp are connected (one of the secondary outputs remains open and in the place of the switcher the measurement device or lamp are connected).

Recommended for publication
of Editorial board

If all the parallel working conditions are met, the voltmeter indicates zero or the lamp does not switch on, because $\Delta E = E_{2I} - E_{2II} = 0$. In this case the two transformers can work in parallel.

The voltmeter and electric lamp has to bear a voltage which is twice the secondary nominal voltage. This is necessary, because if the first connection condition of the second transformer with the homonymous output terminals transformer with the same conductor of the network is not met, t.e.m. E_{2I} and E_{2II} may be summed-up.

Conclusions

The parallel working of electric transformers is justified by the following advantages:

- increased degree of exploitation working;
- keeping a low level of losses in the transformation process, by altering the number of transformers working according with the required load, thus the use of transformers working at a maximum output;
- replacing the high powers and weights transformers with admissible limits weights transformers.

References

- V. Cozma, C. Popescu, s.a.- Electric Transformer – Theory and Applications, Sitech Publisher, Craiova, 2005;
- V. Cozma, C. Popescu, s.a.– Electric machines, asynchronous machines, Sitech Publisher, Craiova, 2005;
- V. Cozma, C. Popescu, s.a.- Electric machines and devices, Sitech Publisher, Craiova, 2007;
- C. Popescu, V. Cozma, s.a.- Electrotechnics and electric machines, Sitech Publisher, Craiova, 2008.