ГОДИШНИК

на
МИННО-ГЕОЛОЖКИЯ УНИВЕРСИТЕТ
“СВ. ИВАН РИЛСКИ” – София

свитък III: МЕХАНИЗАЦИЯ, ЕЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА МИНИТЕ

Том 47 **2004**

ANNUAL

OF
UNIVERSITY OF MINING AND GEOLOGY
“ST. IVAN RILSKI” - Sofia

part III: MECHANIZATION, ELECTRIFICATION AND AUTOMATION IN MINES

Volume 47 **2004**

Издателска къща “Св. Иван Рилски”

Publishing House “St. Ivan Rilski”

София, 2004
Sofia, 2004

ISSN 1312-1820

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

доц. д-р Венцислав Иванов – гл. редактор

доц. д-р Страшимир Страшимиров – зам. гл. редактор

проф. д-р Георги Фетваджиев – председател на ред. съвет

доц. д-р Ради Радичев - председател на ред. съвет

доц. д-р Кръстьо Дерменджиев – председател на ред. съвет

доц. д-р Добрин Тодоров – председател на ред. съвет

инж. Мариана Свиларова

инж. Теодора Христова

РЕДАКЦИОНЕН СЪВЕТ

на свитък III: МЕХАНИЗАЦИЯ, ЕЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА МИНИТЕ

проф. д-р Георги Фетваджиев – председател

проф. д-р Славчо Дончев

доц. д-р Кънчо Иванов

доц. д-р Величка Ангелова

доц. д-р Мария Минчева

С Ъ Д Ъ Р Ж А Н И Е

Илия Йочев	Характерни повреди и откази на редукторите на подемните машини	...7
Илия Йочев Антоанета Янева	Изпитване на работоспособността на спирачната система на руднична подемна уредба	...13
Антоанета Янева	Разпространение на многовъжените подемни машини по света. Критерии за оптимално приложение	...17
Цветан Дамянов Иван Минин	Подобряване на експлоатационните и ремонтни показатели на задвижващия механизъм на барабанните мелници (МШЦ 4,5/6) в минните обогатителни комплекси	...23
Емил Асенов Мариета Янчева	Изследвания върху производителността на центробежна ударно-вибрационна мелница	...29
Драган Живкович Милорад Ранчич Алемпие Вельович	Разработване на информационна система за съхранение на резервните части за минното оборудване в откритията добив	...33
Живко Илиев Евгени Костадинов Георги Вътев	Идеен проект на лабораторен стенд за изпитване на леки руднични локомотиви	...39
Вяра Пожидаева	Симптоми за вибродиагностика на зъбни предавки от задвижванията на минната механизация	...43
Вяра Пожидаева	Симптоми за вибродиагностика на електродвигателите от задвижванията на минната механизация	...47
Цветан Дамянов	Възможности за компютърно изследване на динамичните процеси в истационарни режими на работа при релсово-колесните транспортни машини	...51
Нели Стефанова Матей Матеев	Система за вторично почистване на платното на ГЛТ с двубарабанно задвижване	...61
Генадий Таков Райна Вучева Венелин Ризов	Технологични възможности при шлифоване на детайли от стомана 45	...67
Стефан Стефанов Иван Милев Иван Проданов	Измерване параметрите на електростатичното поле на плоски диелектрици по безконтактен метод	...69
Стефан Стефанов Иван Милев Иван Проданов	Особености на електризацията на диелектрични течности от преливащи магистрали в приемни резервоари и устройства за ограничаване на появилото се статично електричество	...73
Иван Стоилов Кирил Джустров Менто Ментешев	Едно нетрадиционно решение за управление на реактивната енергия в рудник “Елаците”	...77
Иван Стоилов Кирил Джустров Менто Ментешев	Оптимизация на релейните защити в електрическите уредби 6 kV на Челопеч Майнинг АД	...81
Люминита Попеску Флорин Грофу Онисифор Олару Василе Козма	Числено моделиране на диспечерска система за разпределението на електрическа енергия	...87

Велизар Багаров Йордан Стоянов	Определяне на оптималната дължина на захранващ кабел на еднокофов багер в открити рудници	...91
Николай Генадиев Велизар Багаров	Анализ на действащите норми за качество на електрическата енергия	...93
Венелин Тасев Ивайло Йорданов	Основни зависимости при трансформаторно-тиристорен двустепенен стабилизатор за променливо напрежение	...95
Николай Матанов Сидер Сидеров	Моделиране на влиянието на параметрите на електроснабдителната система върху генерираните хармоници на ток и напрежение от мощни токоизправители	...99
Константин Костов	Ротационен феромагнитен елипсоид във въртящо се магнитно поле	...105
Константин Костов, Константин Тричков	Изчисляване на някои електромагнитни параметри и величини на вихрова машина	...109
Здравко Илиев Диана Дечева	Двуканално устройство за събиране на данни	...113
Диана Дечева	Използване на динамични стохастични модели за описание на процеса биологично пречистване на замърсени води	...119
Кънчо Иванов, Динко Белчевски	Съвременни методи за обмен на данни в минната промишленост	...125
Георги Радулов Георги Миланов	Относно система за контрол на поведението на скалния масив, базираща се на методите на изкуствения интелект	...131
Светослав Забунов Кънчо Иванов	Структура и функционалност на Следяща подсистема в Индивидуално-адаптивната система за електронно обучение (ИАСЕО)	...137
Николай Янев	Възможности за приложение на невронни мрежи в минната промишленост	...141

C O N T E N T S

Ilia Iochev	TYPICAL DAMAGE AND FAILURE OF REDUCTION GEARS OF MINE WINDING MACHINES	...7
Ilia Iochev Antoaneta Yaneva	TESTING OF THE WORKING CAPACITY OF THE MINE WINDING MACHINE BRAKE SYSTEM	...13
Antoaneta Yaneva	SPREADING OF MANY-ROPE WINDING MACHINES IN THE WORLD. CRITERIA FOR OPTIMAL APPLICATION	...17
Tsvetan Damianov Ivan Minin	IMPROVING THE MAINTENANCE AND REPAIR CHARACTERISTICS OF THE DRIVE MECHANISM OF DRUM MILLS IN MINERAL PROCESSING PLANTS	...23
Emil Assenov Marieta Yancheva	STUDY OF THE CENTRIFUGAL IMPACT VIBRATING MILL [CIVM] PRODUCTIVITY	...29
Dragan Zivkovic Milorad Rancic Alempije Veljovic	THE DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR STORAGE OF SPARE PARTS FOR MINING EQUIPMENT IN OPEN-PIT MINING	...33
Jivko Iliev Evgeni Kostadinov Georgi Vatev	CONCEPT DESIGN FOR A LABORATORY STAND FOR TESTING OF MINE LOCOMOTIVES	...39
Viara Pozhidaeva	SYMPTOM PARAMETERS TO VIBRODIAGNOSTICS TO GEAR MESH OF MINING MECHANIZATION RUNNING	...43
Viara Pozhidaeva	SYMPTOM PARAMETERS TO VIBRODIAGNOSTICS TO MOTORS OF MINING MECHANIZATION RUNNING	...47
Tsvetan Damianov	OPPORTUNITIES FOR COMPUTER MODELING OF DYNAMIC PROCESSES IN ISTATIONARY MODE OF OPERATION FOR RAIL-TRACK MACHINES	...51
Neli Stefanova Matei Mateev	SYSTEM FOR SECONDARY CLEANING OF THE BELT OF A CONVEYOR WITH TWO-DRUM DRIVE	...61
Genadii Takov Raina Vucheva Venelin Rizov	TECHNOLOGICAL OPTIONS OF THE GRINDING PROCESS OF STEEL 45	...67
Stefan Stefanov Ivan Milev Ivan Prodanov	MEASUREMENT BY A NON-CONTACT METHOD OF THE ELECTROSTATIC FIELD PARAMETERS OF FLAT DIELECTRICS	...69
Stefan Stefanov Ivan Milev Ivan Prodanov	FEATURES OF THE INSULATING LIQUIDS ELECTRIFICATION FROM OVERWLOWING MAIN PIPELINES TO RECEIVING TANKS AND DEVICES FOR THE APPEARED STATIC ELECTRICITY ELIMINATION	...73
Ivan Stoilov Kiril Djustrov Mento Menteshev	A NON-TRADITIONAL DECISION FOR CONTROL OF REACTIVE POWER AT THE ELATSITE MINE	...77
Ivan Stoilov Kiril Djustrov Mento Menteshev	OPTIMIZATION OF RELAY PROTECTION AT THE 6 κV ELECTRICAL INSTALLATIONS AT THE CHELOPECH MINING AD	...81
Luminita Popescu Florin Grofu Onisifor Olaru Vasile Cozma	NUMERIC SYSTEM FOR THE ENERGETICAL DISPATCHERING	...87

Velizar Bagarov Yordan Stoyanov	ESTIMATION OF THE OPTIMUM LENGTH OF THE FEEDING CABLE OF THE SINGLE-BUCKET EXCAVATOR IN THE OPEN-PIT MINE	...91
Nikolay Genadiev Velizar Bagarov	ANALYSIS OF THE OPERATING NORMS FOR THE QUALITY OF THE ELECTRICAL ENERGY	...93
Venelin Tasev Ivailo Yordanov	MAIN DEPENDENCIES OF A TRANSFORMER-THYRISTOR TWO STAGE STABILIZER FOR ALTERNATIVE CURRENT	...95
Nikolay Matanov Sider Siderov	MODELING THE EFFECT OF PARAMETERS OF THE ELECTRICITY SUPPLY SYSTEM ON THE HARMONICS OF CURRENT AND VOLTAGE OF HIGH-VOLTAGE CONVERTERS	...99
Konstantin Kostov	ROTATIONAL FERROMAGNETIC ELLIPSOID IN ROTATING MAGNETIC FIELD	...105
Konstantin Kostov Konstantin Trichkov	CALCULATING SOME ELECTROMAGNETIC PARAMETERS AND MAGNITUDESOF A VORTEX MACHINE	...109
Zdravko Iliev Diana Decheva	TWO CHANNEL DEVICE FOR COLLECTION OF INFORMATION	...113
Diana Decheva	USE OF DYNAMIC STOCHASTICS MODELS FOR DESCRIPTION OF THE PROCESS OF BIOLOGICAL CLARIFICATION OF POLLUTED WATER	...119
Kancho Ivanov Dinko Belchevski	CONTEMPORARY METHODS FOR DATA EXCHANGE IN MINING INDUSTRY	...125
Georgi Radulov Georgi Milanov	SYSTEM FOR THE CONTROL OF BEHAVIOUR OF ROCK MASSIF BASED ON THE METHODS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE	...131
Svetoslav Zabunov Kancho Ivanov	FRAMEWORK AND FUNCTIONALITY OF THE TRACKING SUBSYSTEM IN THE INDIVIDUALLY ADAPTIVE LEARNING MANAGEMENT SYSTEM (IALMS)	...137
Nikolay Yanev	OPPORTUNITIES FOR NN IMPLEMENTATION IN MINING INDUSTRY	...141

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 7-11

Характерни повреди и откази на редукторите на подемните машини

Илия Йочев

"Рудметал" АД, 4960 гр. Рудозем

РЕЗЮМЕ. Редукторът на подемната уредба заема значителен дял от стойността на цялата машина. От неговото техническо състояние зависят надеждността, безопасността при експлоатация и до голяма степен икономическите показатели на предприятието за подземен добив на полезни изкопаеми.
В доклада са формулирани понятията изправност, работоспособност, повреда и отказ. Систематизирани са най-често срещаните в практиката и описаните в литературните източници откази и повреди на редукторите на подемните машини. Дадени са норми за допустими отклонения на технически параметри.

TYPICAL DAMAGE AND FAILURE OF REDUCTION GEARS OF MINE WINDING MACHINES
ABSTRACT: The reduction gear of winding machine takes considerable part of the whole machine value. The economic parameters of the enterprise for underground production of mineral resources are dependent on its technical state.
The most widespread damage and failure of reduction gears of winding machines are systematized in this paper. Standards for admissible deviations of technical parameters are presented.

Въведение

Редукторите на рудничните подемни уредби са важен елемент от машината. Познаването на техните повреди и откази позволява на експлоатационния персонал да поддържа доброто им техническо състояние с минимум средства.

Работоспособността на дадена машина се определя от това нейно състояние, което в определен момент съответствува на всички изисквания по отношение на основните й параметри, характеризиращи нормалното изпълнение на зададените й функции.

Изправността се определя от това състояние на машината, което в даден момент съответствува както на основните параметри, характеризиращи работоспособността, така и на второстепенните параметри, които характеризират удобствата за експлоатация и други фактори. Под неизправност се разбира такова изменение на параметрите, при което все още е възможна работата на машината в задоволителни граници. Достигането на гранично допустимите стойности на тези параметри води до т. нар. отказ, до пълна или частична загуба на работоспособност, т. е. до неработоспособност.

Ако машината от изправно състояние преминава в неизправно, но работоспособно състояние, това събитие се нарича повреда. Ако машината преминава в неработоспособно състояние, това събитие се нарича отказ. Отказите са разнообразни – счупване на детайл, поради което машината не може да изпълнява основната си функция, влошаване на някой от основните параметри под допустимата граница и др.

Нормите за гранично техническо състояние най-напред са въведени за частите от машините в машиностроенето. Голяма част от тези норми, касаещи стандартни машинни елементи като плъзгащи и търкалящи лагери, зъбни колела, валове, цилиндри, бутала и др., могат да се използват и за частите от минната механизация.

Основен критерий за оценка на техническото състояние на частите от машините в машиностроенето е техническият критерий, а другите критерии имат спомагателен характер. Техническият критерий определя това гранично техническо състояние на частта, което съответства на началното рязко увеличаване на износването на работната повърхнина, на гранично допустимо намаляване на якостта на износващата се част вследствие на изменението на нейните размери или на нарушаването на нормалното взаимодействие с други части.

Част от нормите за гранично техническо състояние за частите от машините в машиностроенето могат да се използват до известна степен и за частите на редукторите на рудничните подемни уредби. Имайки предвид обаче, високите стойности на предаваните от тях въртящи моменти, големите им маси и габарити и високата им цена е необходимо да се подходи по специален начин.

В настоящия доклад в логичен ред са анализирани мероприятията за диагностика и нормите за гранично техническо състояние, свързано с най - често проявяващите се повреди и откази.

Повреди

Частично разрушаване на фундамента

Наличие на пукнатини

Замазват се откритите пукнатини през 150-200 mm в продължение на пукнатината с гипсова замазка с размери на сечението 20x10 mm и дължина, достигаща по 30 mm от двете страни на пукнатината. Спукване на замазката след 2 – 3 дни свидетелства за прогресиращо разрушаване на фундамента.

Необходимо е да се открие причината за разрушаването и да се извърши ремонт на фундамента.

Попадането на масло върху фундамента силно намалява якостта му, поради което течовете е необходимо да се отстранят с особено внимание.

Нарушено прилягане на редуктора към фундамента

При появата на тази повреда, както и констатирането на откъртване на бетона от редуктора е необходимо да се изкърти изцяло или частично подливката и да се залее отново. Нужно е да се провери състоянието на закрепващите елементи.

Нарушена хоризонталност

Установява се посредством нивелир с точност 0,1 mm/m, който последователно се поставя върху обработените части от корпуса и върху шийките на валовете. Корпусът не трябва да е деформиран в резултат на затягането му към фундамента. Осите на валовете да са в една плоскост. Допуска се отклонение от хоризонталност до 0,3 mm/m. Допуска се отклоняване на валовете един от друг с ±0,5 mm.

Износване на зъбите

Може да бъде проверено чрез непосредствено измерване на дебелината на зъбите с шублер – зъбомер, а при необходимост от проследяване на динамиката на процеса - с микрометър и изготвяне на микрометражна снимка.

Общият критерий за гранично износване е намаляването на дебелината на зъба с 10 %.

При зъби с цементационен слой за гранично се счита такова износване, при което дебелината на цементационния слой е достигнала до стойност 0,2 - 0,3 от номиналната си стойност, като при това общото износване на зъба не надвишава 10 % от дебелината му.

Когато зъбните колела се износват и челно, т. е. по дължината на зъба, граничното износване е това, при което дължината на зъба е намалена с 12 – 15 %.

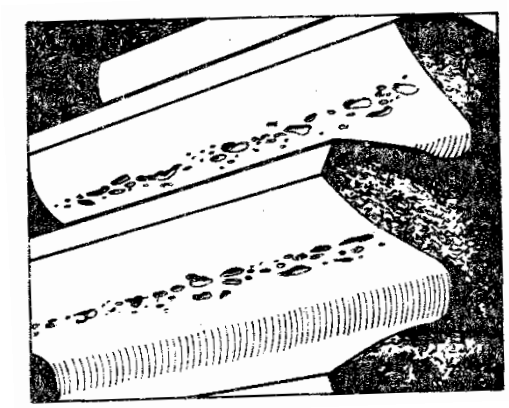
Контактна умора (питинг)

Тази повреда се изразява в поява на малки пукнатини по триещите се повърхнини, които под разклинващото действие на маслото нарастват и понякога достигат дълбочина няколко милиметра - фиг. 1 .

Установява се чрез визуален контрол. При достигане на питинга до 20 % от повърхността на зъба експлоатацията на редуктора може да продължи след изготвяне на заключение за състоянието му от експертна комисия.

Нарушено зацепване

Необходимо е да се определи големината, формата и разположението на контактното петно. Става посредством намазване с бързозасъхваща боя на 3 - 4 зъба, влизащи в съприкосновение. Завърта се в едната и другата посока няколко пъти. Оформя се контактното петно, което за еволвентно зацепване трябва да има формата на разтеглен овал, разположен по средата на работната повърхност (след продължителна експлоатация контактното петно има повишен метален блясък и не е нужно използването на боя). Големината на контактното петно за най–често употребяваните редуктори е дадена в таблица 1.



Фиг. 1. Добре изразен питинг по цялата дължина на зъбите

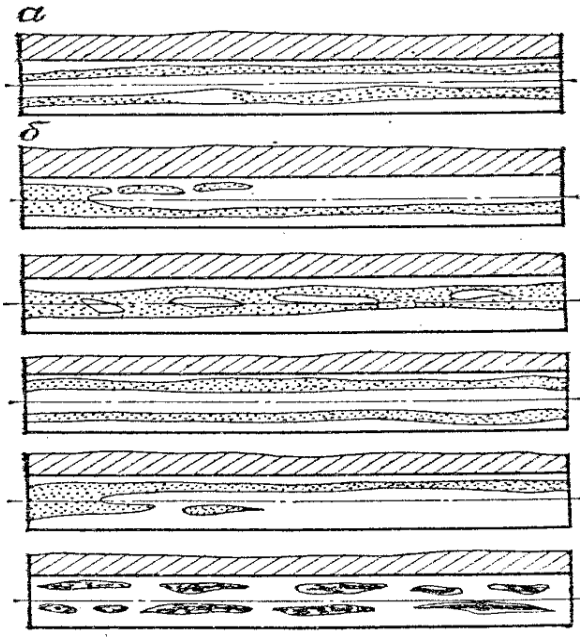
При зацепване на Новиков и нов редуктор първоначалният контакт се оформя в основата на зъба във вид на линии, разположени на не по-малко от 80 % от дължината на зъба. В процеса на работа контактното петно се разполага по цялата височина на зъба. Пример за контактни петна при зацепване на Новиков е даден на фиг. 2.

Таблица 1

Нормални големини на контактни петна за най-често използвани редуктори за подемни машини

РЕДУКТОР ТИП	Контактно петно не по-малко,%	
	По височина на зъба	По дължина на зъба
ЦДП-7, 2ЦД-14, РС-700М, 2ЦД-17, 2ЦД-20, 2ЦД-23, ЦД-20, ЦД-2000, ЦО2Х2200, ЦО-20, ЦД-17, ЦД-100Т	45	60
ЦД-16	60	80
ЦО-18, ЦО-22, ЦО 2Х1800	50	70
ЦД-115, ЦД-115у, ЦД-5-115, ЦД-150М, ЦД2-163	45	50
ЦД-150У, ЦД-170, РЦД-1150Л, КЦТН-710, ЦОН-16	60	50

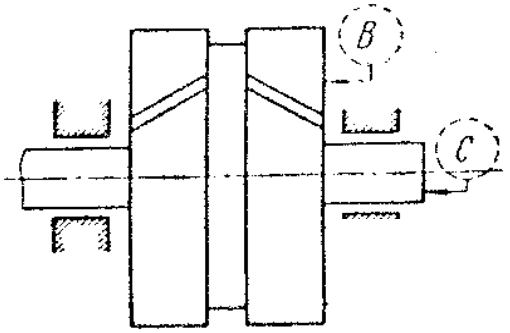
При несъответствие на формата, разположението и големината на контактното петно с табл. 1 и фиг. 2 е необходимо да се открие причината, която най-често е нарушената успоредност на валовете на зъбните колела или деформиране на корпуса на редуктора в резултат на неправилно затягане на анкерните болтове. Друга вероятна причина е прекалено голямата височина на плоското уплътнение, разположено между основата и капака на редуктора.



Фиг. 2. Примери за контактни петна при зацепване на Новиков
а- нормален контакт; б – допустими отклонения от нормално разположеното контактно петно

Повишено челно биене на зъбните колела

Обикновено този дефект се установява с помощта на два часовникови индикатора B и C с точност на едно деление 0,01 mm – фиг. 3. Бавно се завърта редукторът и се измерва биенето в не по-малко от осем точки през 45 градуса. Показанията на индикаторите се изваждат, ако и двете са в една посока и се сумират, ако са в различни посоки.



Фиг. 3. Измерване на челното биене с два часовникови индикатора

Допустимите стойности за челно биене за зъбни колела на редуктори на руднични подемни машини са изложени в таблица 2. Измерването на стойности, надвишаващи посочените в табл. 2 свидетелства за наличие на деформации на основните елементи на редуктора.

Повишено биене на корпуса при редуктори на пружинни опори

Измерването се извършва посредством два измерителни часовника - единият се разполага на челната повърхност, а другият - на страничната повърхност на редуктора. Завърта се бавно органът за навиване и се снемат показанията през 90 градуса**.** Амплитудата на биене не трябва да превишава 0,6 mm. Ако това не е изпълнено, да се провери съосността на вала на подемната машина и вала на редуктора.

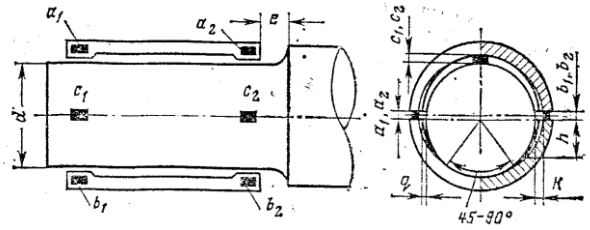
Таблица 2

Допустими стойности на челното биене на зъбно колело, отнесено към 100mm от неговия диаметър, μm

Степен на точност на предавката	Широчина на колелото или полушеврона, mm								
	До 55	55 - 100	110 - 160	160 - 220	220 - 320	320 - 450	450 - 630	630 - 900	900 - 1250
7	21	11	8	6	5	4,2	3,6	3,2	2,8
8	26	14	10	8	6	5,2	4,5	4,0	3,6
9	34	18	12	10	8	6,5	5,5	5,0	4,5
10	42	22	16	12	10	8,5	7,0	6,0	5,5

Увеличена радиална хлабина (над граничната) при редуктори с плъзгащи лагери

До тази повреда най–често се стига при наличие на условия за влошено смазване на даден лагер. Определянето на радиалната хлабина може да се извърши с помощта на няколко парчета оловна тел с диаметър 2 – 3 mm, които се разполагат между черупките и вала по схемата на фиг. 4. Затягат се свързващите болтове, разхлабват се, демонтира се горната черупка и чрез микрометър се измерва дебелината на деформираните парчета.



Фиг. 4. Определяне на радиалната хлабина на плъзгащ лагер

Фактическата стойност на радиалната хлабина *m* се определя по формулите:

$$m_1 = c_1 - \frac{a_1 + b_1}{2}, mm \qquad (1)$$

$$m_2 = c_2 - \frac{a_2 + b_2}{2}, mm \qquad (2)$$

където $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$ са дебелините на деформираните оловни парчета, *mm* .

Граничните стойности за радиалната хлабина на плъзгащи лагери за редуктори, произведени от Новокраматорския машиностроителен завод, са посочени в таблица 3.

Таблица 3

Допустими стойности на радиалната хлабина за плъзгащи лагери на редуктори на подемни машини, mm

Диаметър на вала,mm	Радиална хлабина, mm		Макс. хлабина K в зоната на масления джоб, mm	Дълбочина на масления джоб h_1, mm
	Нормална	Гранична		
50 - 80	0,06	0,18	2,0	15
81 -120	0,08	0,21	2,5	18
121 -180	0,10	0,24	3,0	20
181 - 260	0,12	0,28	3,0	20
261 - 360	0,14	0,32	3,5	25
361 - 500	0,16	0,37	4,0	30
501 - 630	0,18	0,40	5,0	35
630 - 800	0,20	0,43	6,5	45

Таблица 4

Допустими стойности на радиалната хлабина за търкалящи лагери на редуктори на подемни машини, mm

Диаметър на отвора,mm	Тип на лагера					
	Сачмен радиален		Радиален с къси ролки		Ролков радиален сферичен	
	Радиална хлабина,μm					
	Макс. за нов лагер	Макс. след експ-лоат.	Макс. за нов лагер	Макс. след експ-лоат.	Макс. за нов лагер	Макс. след експ-лоат.
30-40	26	80	55	150	40	120
40-50	29	90	55	150	45	140
50-65	33	100	65	200	50	150
65-80	34	110	70	200	60	180
80-100	40	120	80	250	70	200
100-120	46	140	90	270	80	250
120-140	53	160	100	300	90	270
140-160	58	175	115	350	100	300
160-180	65	190	125	370	110	330
180-200	75	220	135	400	120	360
200-225	-	-	150	450	140	420
225-250	-	-	165	500	150	450
250-280	-	-	180	540	170	500
280-315	-	-	195	600	180	540
315-355	-	-	215	630	210	630
355-400	-	-	235	700	230	700
400-450	-	-	260	750	260	750

За определяне на граничните стойности на радиалната хлабина в плъзгащите лагери на редукторите на подемните машини може да се използва и следната формула:

$$m = (0{,}0005 \div 0{,}0015)d, mm \qquad (3)$$

където *d* е диаметърът на шийката на вала, *mm.*

Ниската стойност, получена съгласно (3), се счита за нормална, а високата за гранична.

Регулирането на радиалната хлабина става посредством пластините, разположени между черупките на лагера, а когато това е невъзможно – чрез презаливане.

Увеличена радиална хлабина (над граничната) при редуктори с търкалящи лагери

При редукторите с търкалящи лагери хлабината между външния пръстен и ролките или сачмите се измерва посредством хлабиномер откъм двете чела на лагера. Замерите се извършват през 90 градуса. За максимална големина на радиалната хлабина се приема средно-аритметичната стойност. Признак за гранично износен търкалящ лагер е характерен стържещ шум, придружен с периодични удари. Граничните стойности за радиалните хлабини на търкалящи лагери за редуктори на подемни машини са посочени в таблица 4.

Откази

Отказите на редукторите от подемните машини са сравнително рядко проявяващи се събития, които са свързани с големи престои на подемната уредба и скъпо струващи ремонтни действия. Във всички случаи при настъпване на отказ е необходимо да се подмени дефектният елемент.

Счупване на вал

До този отказ се стига много рядко. Все пак има описани случаи – Киричок и др. (1982) на счупване на вал в резултат на умора на материала. При рудничните подемни уредби този момент може да настъпи след 30-35 г. експлоатация при условия, близки или по–тежки от проектните.

Разрушаване на зъбно колело

Дължи се на умора на материала и на различни претоварвания. Зъбите се разрушават частично или изцяло. Случва се най-често при работа на подемната уредба с окачени товари, значително надхвърлящи проектните. На фиг. 5 е илюстрирано пластично разрушаване на зъбите на входящ вал от редуктор „РС 700М", работещ в комплекта на подемна машина „МК-2,1х4р-18" на шахта „Рудозем".

Фиг. 5. Пластично разрушаване на зъби от редуктор „РС 700М"

Износване на заливката на плъзгащ лагер

До този отказ се стига при работа на плъзгащ лагер с радиални хлабини, надхвърлящи граничните и (или) влошеното смазване. В резултат на това може да се стигне до износване на целия слой композиционен материал (бабит) и нарушаване на зацепването на дадена предавка, т.е. за-

губа на работоспособност. Необходимо е да се извърши презаливане с последващо обработване на лагера .

Заключение

Повредите и отказите на редукторите на подемните машини са събития с неголяма честота на проявяване, но недопускането на значителните загуби от престои и за възстановителни мероприятия изисква познаването на нормите за гранично техническо състояние на техните елементи. Целта на експлоатационния персонал трябва да бъде поддържането и възстановяването на рудничните подемни машини да става с такива разходи, при които стойността на подема на хора и товари е минимална.

Важен момент за постигането на тази цел е своевременното отстраняване на повредите и недопускането на откази, за което е подходящо да се използват нормите за гранично техническо състояние на елементи от редукторите на подемните машини, изложени в настоящия доклад.

Литература

Бежок, В. Р., Б. Н. Чайка, Н. Ф. Кузьменко. 1982. *Руководство по ревизии, наладке и испытанию шахтных подьемных установок*. М., Недра.

Киричок Ю. Г., В. В. Ройзен, Н. И. Илиенко, В. И. Хорунжий, Л. Е. Шабаш, В. Д. Корнилов. 1982. *Проектирование и эксплуатация подьемных комплексов железорудных шахт*. М., Недра.

Мърхов Н. Б. 1991. *Поддържане и ремонт на минна механизация*. С., Техника.

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 13-16

Изпитване на работоспособността на спирачната система на руднична подемна уредба

Илия Йочев[1], Антоанета Янева[2]

[1] "Рудметал" АД , 4960 гр. Рудозем
[2] Минно – геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. След промяна на окачените товари или височината на подем, както и при първоначално пускане в експлоатация, и след провеждане на някои ремонтни дейности, е необходимо да се извърши изпитание на спирачната система на рудничната подемна уредба .
В доклада е изложен метод за проверка на способността на спирачната система да изпълнява основната си функция, базиран на анализиране на процесите на предпазно спиране при спускане и подем на товар. Систематизирани са изискванията за граничните стойности на времето за празен ход, времето за сработване на спирачката и средните стойности на закъсненията в процеса на предпазно спиране съгласно различни нормативни документи. Посочени са начини за настройката на спирачната система.

TESTING OF THE WORKING CAPACITY OF THE MINE WINDING MACHINE BRAKE SYSTEM

ABSTRACT. After change of the hanging loads or the height of winding as well as during the initial putting in exploitation and after some repair operations, it is necessary to be carried out testing of the mine winding machine brake system.
A method for check-up the brake system capacity to carry out its main function, based on analyzing the stopping processes, is presented in the paper. The requirements for limit values of the free activity time, the time of the brake system working and the average values of delays in the process of stopping are systematized according to various normative documents. Ways of its setting-up are indicated.

Увод

Един от основните елементи на рудничните подемни уредби (РПУ) е спирачната система. Нейната работоспособност играе основна роля за сигурността и безопасността при експлоатация.

Възприето е работоспособността на машината да се определя от това нейно състояние, което в даден момент съответствува на всички изисквания по отношение на основните й параметри, характеризиращи нормалното изпълнение на зададените й функции. Обикновено основните параметри, при които машината се оценява, че работи нормално, са дадени в техническата документация, която освен техническата характеристика съдържа също нормите и допустимите отклонения от тези параметри (БДС 8967-72). Следователно работоспособността на машината не е свързана само с нейната способност да изпълнява необходимите функции, но и с това, че основните й параметри трябва да са в известни допустими граници.

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

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

Посредством изпитване на работоспособността на спирачната система се проверява верността на изчисленията на същата.

Основните цели на изпитанията са следните:

- определяне на продължителността на празния ход и времето за сработване на спирачката при предпазно спиране и проверка на съответствието на тези стойности с изискванията на правилниците по техническа безопасност;
- определяне на закъснението на подемните съдове при предпазно спиране при спускане и подем на изчислителния товар за дадената подемна уредба;

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

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

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

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

- Хлабините между накладките и спирачните полета трябва да са настроени на максимална величина (сумарна хлабина за двете челюсти и полето 2 + 2 mm), при която сработва изключвателят за износени накладки. При машини с пружинно задвижване на работната спирачка изпитанията се извършват както при максимални, така и при нормални хлабини, понеже от големината на сумарната хлабина зависи стойността на спирачния момент.;

- Единият от подемните съдове трябва да е натоварен с максималния изчислен товар. Не се допуска изпитванията да се извършват при наличие на хора в подемните съдове. При предназначение за извоз само на хора в подемния съд се натоварват тежести със сумарно тегло, равно на теглото на максималния разрешен брой хора;
- За неуравновесен подем изпитванията се извършват при това положение на подемните съдове, при което статичната разлика в клоновете на въжетата е максимална. За уравновесен подем изпитванията се извършват при което и да е положение на подемните съдове;
- Изпитванията се извършват при максимална скорост, разрешена за подем и спускане;
- Предпазното спиране е необходимо да бъде съпроводено от изключване на главния двигател.

Същност на изпитването

При подемни уредби с изход на повърхността се извършва осцилографиране на процеса на предпазно спиране. На фотохартия или милиметрова хартия се записва скоростта на подемната машина и се фиксира моментът на задействане на спирачката. Скоростта на движение на хартията трябва да не е по-малка от 10 mm/s .

На фиг. 1 и фиг. 2 са показани осцилограми, съответно при спускане и подем. Означенията са както следва:

Vmax - максималната скорост на подемната машина;

$V_{СП}$ и $V_{П}$ – скоростта в момента на изтичане на времето за сработване на спирачката съответно при спускане и подем;

$V_{D\,СП}$ и $V_{D\,П}$ – скоростта в момента на налагане на втората степен на спирачката съответно при спускане и подем;

$t_{ПХ}$- продължителността на празния ход на спирачката;

$t_{СС}$- времето за сработване (задействане) на спирачката;

$t_{СП}$ и $t_{П}$ - времето за спиране на подемната машина съответно при спускане и подем;

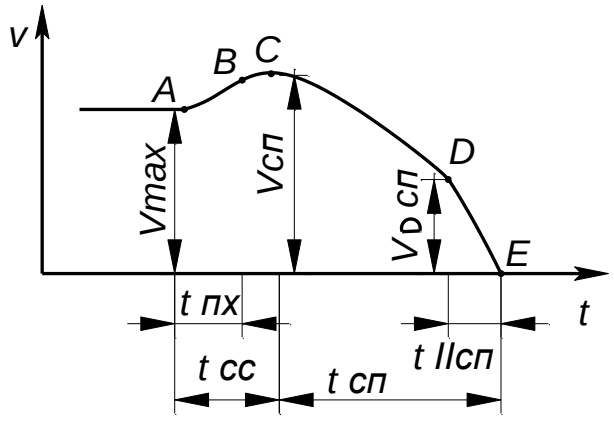
$t_{IIСП}$ и $t_{IIП}$ – времето за действие на втората степен на спирачката, съответно при спускане и подем.

През времето на празния ход на спирачката, машината се движи с ускорение (при спускане) или със закъснение (при подем) - участък АВ. Първата чупка на диаграмата (точка В) свидетелства за докосване на накладките до спирачното поле и е налице нарастващ спирачен момент. Следователно разстоянието между проекциите на точките А и В върху хоризонталната ос, разделено на скоростта на движение на хартията е всъщност продължителността на празния ход.

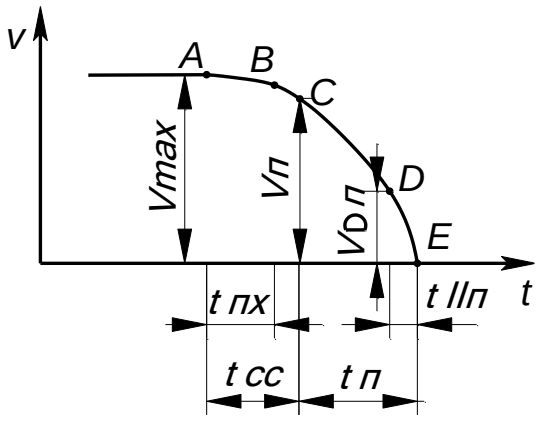
При спускане (фиг.1), в точка С от диаграмата се наблюдава прекратяване на увеличението на скоростта – спирачният момент е равен на статичния. Следователно разстоянието между проекциите на точките А и С върху хоризонталната ос, разделено на скоростта на движение на хартията, е времето за сработване на спирачката. Фактическата средна стойност на закъснението на подемната уредба, в процеса на предпазно спиране при спускане на товар, е частно от отношението на скоростта $V_{СП}$ в точка С към времето $t_{СП}$, необходимо за забавяне до пълно спиране на машината от точка С до точка Е. Времето $t_{СП}$ се определя чрез деление на разстоянието между проекциите на точки С и Е върху хоризонталната ос към скоростта на движение на хартията.

По аналогичен начин се определя фактическата средна стойност на закъснението при предпазно спиране при подем на товар. Положението на точка С на диаграмата на фиг. 2 се определя от условието за равенство на времената за сработване на спирачката при спускане и подем на товар.

Пречупването на диаграмите в т. D свидетелствува за задействане на втората степен на предпазното спиране (при двустепенно спиране). При барабанни машини това пречупване се пренебрегва. При машини с триещ орган на навиване е необходимо, освен стойностите на средните закъснения, да се определят и стойностите на закъсненията при налагане на втората степен на предпазно спиране като частно от делението на скоростите $V_{D\,СП}$ и $V_{D\,П}$ към времената $t_{IIСП}$ и $t_{IIП}$.



Фиг. 1. Осцилограма на процеса на предпазно спиране при спускане на товар



Фиг. 2. Осцилограма на процеса на предпазно спиране при издигане на товар

Казаното до тук може да бъде изразено посредством следните зависимости:

Време за празен ход – $t_{ПХ}$ при спускане и подем – фиг. 1 и фиг. 2:

$$t_{ПХ} = \frac{AB}{v_{ДХ}}, s \qquad (1)$$

където АВ е разстоянието между проекциите на точките А и В върху абсцисната ос, mm;

v ДХ – скоростта на движение на хартията, mm/s.

Време за сработване на спирачката – t СС при спускане и подем – фиг. 1 и фиг. 2:

$$t_{CC} = \frac{AC}{v_{ДХ}}, s \qquad (2)$$

където: AB е разстоянието между проекциите на точките A и C върху абсцисната ос, mm .

Фактически средни стойности на закъсненията в процеса на предпазно спиране

При спускане – $a_{СП}$ - фиг. 1*:*

$$a_{СП} = \frac{v_{СП}}{t_{СП}}, m/s^2 \qquad (3)$$

$$t_{СП} = \frac{CE}{v_{ДХ}}, s \qquad (4)$$

където: CE е разстоянието между проекциите на точките C и E върху абсцисната ос фиг. 1, mm.

При подем – $a_{П}$ - фиг. 2:

$$a_{П} = \frac{v_{П}}{t_{П}}, m/s^2 \qquad (5)$$

$$t_{П} = \frac{CE}{v_{ДХ}}, s \qquad (6)$$

където: CE е разстоянието между проекциите на точките C и E върху абсцисната ос фиг. 2, mm.

Стойности на закъсненията в периода на втора степен на предпазно спиране .

Определят се само за подемни уредби с триещи шайби, като получената стойност не трябва да надхвърля границата предвидена за плъзгане на въжето.

При спускане – $a_{IIСП}$ - фиг. 1:

$$a_{II\,СП} = \frac{v_{DСП}}{t_{II\,СП}}, m/s^2 \qquad (7)$$

$$t_{\ II\,СП} = \frac{DE}{v_{ДХ}}, s \qquad (8)$$

където: DE е разстоянието между проекциите на точките D и E върху абсцисната ос фиг. 1, mm .

При подем – $a_{IIП}$ - фиг. 2:

$$a_{IIП} = \frac{v_{DП}}{t_{IIП}}, m/s^2 \qquad (9)$$

$$t_{IIП} = \frac{DE}{v_{ДХ}}, s \qquad (10)$$

където: DE е разстоянието между проекциите на точките D и E върху абсцисната ос фиг. 2, mm

Получените стойности за времето за празен ход и времето за сработване на спирачката, както и стойностите на закъсненията в периода на предпазно спиране е необходимо да удовлетворяват изискванията на съответния правилник за безопасност на труда, които са обобщени в таблица 1.

За подемните уредби на дълбоките шахти диаграмата на скоростите при предпазно спиране може да бъде стъпаловидна, което се дължи на еластичните колебания на въжетата в резултат на резките промени на натоварванията, на които са подложени. Моментни стойности на ускоренията не се определят, а средните закъснения се определят по начина, изложен по-горе. За намаляване на стъпаловидния характер на диаграмата на скоростите се препоръчва да се отрегулира спирачката така, че при спускане на товар да се получи закъснение със стойност, близка до минимално допустимата, лимитирана от съответния правилник по безопасност на труда.

Ако фактическите стойности на продължителността на празния ход и времето за сработване на спирачката не удовлетворяват изискванията, е необходимо да се отстранят причините за това, които могат да бъдат следните:

- бавно отпадане на електромагнита на предпазната спирачка;
- голяма хлабина между спирачните челюсти и полета;
- затягане в шарнирите на изпълнителния орган на спирачката;
- малка стойност на спирачния момент, създаван от първата степен на предпазно спиране;
- затлачени тръбопроводи на спирачната система;
- ниска температура в сградата на подемната машина;
- прекалено затегнати салникови уплътнения на спирачните цилиндри;
- високото ниво на маслото в демпфера или прекалено гъсто масло при машини с тежестно задвижване на спирачката;
- непълно отваряне на изпускателния отвор на крана за предпазно спиране или малък диаметър на отвора на дроселната шайба при машините с хидро-тежестно задвижване на спирачката;
- прекалено затегната пружина на изпускателните устройства при пружинно-пневматичните задвижвания с или без тежести;
- за машините, произведени от НКМЗ – бавно нарастване на налягането на първата степен на предпазно спиране по причина на регулатора на налягане и др.

При някои типове подемни машини на фирмите „Алис Чармес" и „Коперс", по конструктивни причини времето на празния ход достига 2,5 s. Намаляването на тази стойност е невъзможно.

Ако фактическите стойности на средните закъснения при предпазно спиране не удовлетворяват изискванията, е необходимо да се отрегулира спирачката.

Таблица 1

Гранични стойности на времето за празен ход, времето за сработване на спирачката и средните стойности на закъсненията в процеса на предпазно спиране.

ПБТ при разработване на рудни и нерудни находища по подземен начин	$t_{пх}$	Подемни машини и лебедки	$t_{пх} \le 0,5$ s
		Новопроектирани проходчески лебедки	$t_{пх} \le 1,5$ s
	$t_{сс}$	Не е лимитирано	Приема се $t_{сс} \le 0,8$ s
	a	Вертикален и наклонен подем с ъгъл > 30^0 и спускане	$a_{сп} \ge 1,5$ m/s^2
		Вертикален и наклонен подем с ъгъл > 30^0 и подем	$a_{п} \le 5$ m/s^2
Правилник по безопасност на труда в подземните въглищни рудници /В.01.01.01./	$t_{пх}$	При пневмотежестно задвижване на спирачката	$t_{пх} \le 0,5$ s
		При хидротежестно задвижване на спирачката	$t_{пх} \le 0,6$ s
		При пневмо- и хидро-пружинно задвижване и нови конструкции спирачки	$t_{пх} \le 0,3$ s
	$t_{сс}$	Независимо от вида на задвижването	$t_{сс} \le 0,8$ s
	a	Барабанни подемни уредби с ъгъл на наклона на изработката 50^0 и повече	$a \le 5$ m/s^2
		Барабанни подемни уредби с ъгъл на наклона на изработката от 5^0 до 40^0	$a \le 0,8 \div 4$ m/s^2 виж правилника
		Триещи шайби при наклон на изработката над 50^0	$a \le 4$ m/s^2
		Наклон на изработката до 30^0	$a \ge 0,75$ m/s^2
		Наклон на изработката над 30^0	$a_{сп} \ge 1,5$ m/s^2

При прекалено ниски стойности на закъсненията при спускане на товар се въздейства чрез:

- увеличаване на спирачния момент;
- увеличаване на спирачния момент на първата степен на спиране при двустепенна схема.

При прекалено високи стойности на закъсненията при подем се въздейства чрез:

- намаляване на спирачния момент в допустими граници;
- намаляване на спирачния момент на първата степен на предпазно спиране или увеличаване на задръжката до налагане на втората степен на предпазно спиране.

Особености при изпитването на работоспособността на спирачната система на подземни подемни машини

В този случай не се извършва осцилографиране на процеса на предпазно спиране, а непосредствено се измерват пътят и времето на предпазно спиране. В първия случай стойността на закъснението се определя по формулата:

$$a = \frac{v^2}{2(S - vt_{CC})}\ , m/s^2 \qquad (11)$$

където: v е скоростта на машината в момента на сработване на предпазната спирачка, m/s ;

S – пътят, изминат за времето на предпазното спиране , m ;

$t_{сс}$ – времето за сработване на спирачката – приема се 0,8s .

Във втория случай стойността на времето за предпазно спиране t се измерва със секундомер, а стойността на закъснението се определя по формулата:

$$a = \frac{v}{t - t_{CC}}\ , m/s^2 \qquad (12)$$

Препоръчва се определянето на средните стойности на закъсненията да се определят по двата метода и за окончателна да се приеме средноаритметичната стойност.

Изводи

Основна задача при определяне на работоспособността на спирачната система на руднична подемна уредба е определянето на времето за празен ход, времето за сработване на спирачката и стойностите на средното закъснение в периода на предпазно спиране.

Такива изследвания се провеждат при пускане в работа на нова подемна машина, промяна на условията на експлоатация, извършване на ремонти, свързани с елементи от спирачната система, неудовлетворителна работа на спирачката и др.

За определяне на фактическите стойности на времето за празен ход, времето за сработване на спирачката и стойностите на средното закъснение в периода на предпазно спиране е подходящо да се използува методиката, изложена в настоящия доклад. Получените стойностите трябва да удовлетворяват изискванията на съответния правилник по безопасност на труда.

Литература

Бежок, В. Р., Чайка Б. Н, Кузьменко, Н. Ф. 1982. *Руководство по ревизии, наладке и испытанию шахтных подьемных установок*. М., Недра.

Йочев, И. Щ., Кърцелин Е. Р. 2003. *Определяне на техническото състояние на някои основни елементи от руднична подемна уредба*. *– Год. МГУ* , 46, св. III – Механиз., електр. и автом., 19 – 22.

Мърхов Н. Б. 1991. *Поддържане и ремонт на минна механизация*. С., Техника.

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

Правилник по безопасност на труда в подземните въглищни рудници /В.01.01.01./. 1992. С., ДФ "Полиграфичен комбинат".

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 17-21

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

Антоанета Янева

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

РЕЗЮМЕ. Обект на настоящата публикация са най-широко използваните по света много-въжени ПМ за вертикални шахти с голяма и свръхголяма дълбочина. Изследването се ограничава до брой на подемните въжета nв ≥ 4; височина на подема H ≥ 600 m и пускане в експлоатация на машините след 1970 г.
Разгледани са предимствата, недостатъците и критериите за оптимално приложение на многовъжения подем. Статистичните данни са обобщени в табличен вид с най-важните параметри и дават широка представа за разпространението, възможностите и актуалността на многовъжените ПМ. (Разработката може да служи и като учебно помагало).

SPREADING OF MANY-ROPE WINDING MACHINES IN THE WORLD. CRITERIA FOR OPTIMAL APPLICATION
ABSTRACT. The objects of the present publication are the most widely used in the world many-rope winding machines for vertical shafts with abyss and over depth. The research is limited by the number of the winding ropes $n_в \geq 4$; height of winding $H \geq 600$ m and exploitation of machines after 1970.
The priorities, defects and criteria for optimal application of the many-rope winding are presented.
The statistic data is generalized in tables with the most important parameters and gives the idea of spreading, possibilities and actuality of the many-rope winding machines. (This publication may be used as a training aid.)

Увод

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

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

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

Основни предимства на многовъжената подемна машина

- Има значително по-малък диаметър на подемните въжета – $d_в$, от този при едновъжения подем d_1 заради увеличения им брой – $n_в$. Зависимостта е:

  $d_в = d_1 / \sqrt{n_в}$; може да се осигури по-добър и достоверен контрол на състоянието на въжето.

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

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

Недостатъци – за съобразяване при проектиране и експлоатация на многовъжения подем

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

Избор на подемна машина

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

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

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

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

Критерии за оптимално приложение на многовъжения подем

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

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

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

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

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

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

Разпространение на многовъжените ПМ, фирми-производители

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

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

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

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

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

Използвани са следните означения:

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

Анализ на прегледаните данни

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

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

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

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

Таблица 1

Разпространение на многовъжените подемни машини

N	Държава, подемна уредба	H, m	Fст max, t	ПС	Vm, m/s	nв	Dтш, m	Задв.	Nдв, kW
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Австралия, К 57	1220	24	С/С	15.3	4	4.75	ПТ	2175
2	Удкътер	920	15	С/СК	15	4	3	ПТ	2283
3	Аржентина, Сиера Гранде 700	700	22.3	С/С	12	8	2.5	ПТ	2800
4	Белгия, Св. Катерина	900	12	К/К	16	4	4	ПТ	2840
5	Бразилия, Караиба	750	16.8	С/С	11	8	2.5	ПТ	3200
6	Караиба	750	9	К/Т	6.7	8	2.375	ПТ	550
7	България, Юбилейна	825		К/Т	8	4	4		
8	Рибница, Изворите	525	22,5	К/Т	6	4	2.1	АД	400
9	Голям Палас С	713	17,5	К/Т	8	4	2,25	ПТ	315
10	Мина Росен, N 3	700		С/К	12	4	2.25	ПТ	
11	Германия, Енсдорф С	1450	35	К/К	12	6	5	ПТ	4200
12	Проспер Ханиел	850	22	С/С	18	4	7.5	ПТ	4440
13	Ханс Аден	1023	16	С/С	16	4	7.5	ПТ	2х1400
14	Фридрих Х. 1 С	1000	19.2	С/С	16	4	4.5	ПТ	3620
15	Проспер 10	1400	25	К/Т	12	4	5	ПТ	1500
16	Нидерберг 5 З	780	27.5	К/К	16	4	5	ПТ	2х2400
17	Емил Майриш 3	1200	25.2	К/К	16	4	5.4	ПТ	4800
18	Аугуста. Виктория 8	1130	28	К/К	14	6	5	ПТ	3060
19	Хановер 2	1350	33	С/С	18	4	5	ПТ	2х3200
20	Консолидация N 3	1180	42	С/С	18	6	5	ПТ	2х4600
21	Заир, Кипуши N 5	1475	15	С/С	18	4	4.5	ПТ	2х1750
22	Кипуши N 5	1475	14	К/Т	13.5	4	4.5	ПТ	1750
23	Камото	700	15	С/С	5	4	4	ПТ	2х1180
24	Замбия, Чибулума	1050	6.4	С/С	12	4	2.1	ПТ	1000
25	Чибулума	1050	9.1	К/Т	12	6	2.1	ПТ	1000
26	Миндола 2	980	13.6	С/С	15.3	4	3.66	АД	2х1540
27	Зимбабве, Рейлуей Блок	975	5	С/С	7.6	4	2.29	ПТ	450
28	Индия, Тата Айрон Ко	600	8	С/С	10	6	2.2	ПТ	1100
29	Ядугуда	600	5	К/Т	10	4	2	АД	360
30	Испания, Алберто	1120	12.4	К/Т	10	4	4	ПТ	825
31	Рубиалес	1000	14	С/К	10	4	4,2	ПТ	1600
32	Поцо Сантиаго	724	17	С/Т	13	2	4.5	WL	2х827
33	Сан Йоакин	700	7	С/Т	8	4	3.15	ПТ	815
34	Италия, Бочегиано	887	26.5	С/Т	16	6	2.7	ПТ	2600
35	Канада, Брунсуик N 3	1380	27	С/Т	12.7	4	5.33	ПТ	4020
36	Дофин	910	12	С/С	9.5	6	2.2	ПТ	2х600
37	Норанда	1280	16.3	С/С	15.24	4	4.57	ПТ	2812
38	Кид грийк N 3	1070	12	С/К	12.2	4	3.35	ПТ	1490
39	Страткона	1525	9,5	К/Т	10	4	2,75	WL	550
40	Кон Майн	2170	11,4		12,6	4	5,33	ПТ	1500
41	Томпсън	1340	8	К/Т	7.6	4	3.9	ПТ	450
42	Томпсън	1310	13.6	С/С	13.3	4	4.6	ПТ	2х1200
43	Китай, Хеганг	1000	12	С/С	9	6	2.3	ПТ	1250
44	Донг Туан	751	12	К/К	12	6	2.8	ПТ	1700
45	Сан Шан Дао Голд майн	702	10,5	К/Т	7,7	5	2,08	ПТ	427
46	Анкинг Копер Майн	771	20	С/С	10	4	4	ПТ	1500
47	Пинг Динг Шан С	820	16	С/С	10	4	4	ПТ	2100
48	Корея, Канг Вон N 3	620	12	С/Т	10	6	2.1	ПТ	880
49	Ханг Сунг	615	12	К/Т	10	4	3.2	ПТ	950
50	Мексико, Такско	600	13	С/Т	10	4	2.5	ПТ	870
51	Сан Игнасио	1220	10	С/С	16.3	6	2.3	ПТ	2100

52	Норвегия, Тверфилет	750	13.5	СК/Т	12	6	2.25	ПТ	1100
53	Фосдаленс Бергверк 5	1540	12,5	С/С	12	4	4	АД	2х1104
54	Полша, Рудна R2	1075	30	С/С	20	4	5.5	ПТ	2х3600
55	Рудна R 1	1034	15	С/С	16	4	4	ПТ	2900
56	Бржешче	695	25	С/С	20	4	5	ПТ	2х2900
57	Полковице Р6	1034	15	С/С	16	4	4	ПТ	3000
58	ХХХ - Леси	1160	25	С/С	20	4	5	ПТ	2х2900
59	САЩ, Хоумстейк N 6	1360	7.7	С/С	10.7	6	2.1	ПТ	1000
60	Фелпс Додж, Раб.1	1112	1,4	К/Т	7,6	2	1,98	ПТ	100
61	Фелпс Додж, Серв.	751	27.2	С/Т	12.2	4	33.5	ПТ	1900
62	Фелпс Додж, Раб.2	1097	16.3	К/Т	7.6	8	2.54	ПТ	835
63	Турция, Армучук	600	11	К/К	8	4	2,8	ПТ	925
64	Финландия, Раутаруки	1000	7	К/Т	5	4	2	ПТ	220
65	Франция, Ленс 1	1100	13.2	К/К	18	4	5	ПТ	3250
66	Амели	700	19	С/С	14,8	2	7,4	ПТ	2х1440
67	Щафелфелден	880	11.4	С/С	12.6	4	5.33	ПТ	1500
68	Швеция, Стекеньок	1000	14	С/Т	6	8	2.25	ПТ	1200
69	Кристинеберг	760	9	С/С	7	4	5	ПТ	800
70	Гренгесберг	1006	15	С/С	16	8	2.29	WL	785
71	Неслиден	1000	14	С/Т	10	10	1,85	ПТ	550
72	Кируна В4	802	30	С/С	17	4	3.25	ПТ	5600
73	Кируна В3	802	40	С/Т	17	6	3.25	ПТ	4300
74	Перие 1	1000	5.5	К/Т	5.4	4	1.35	ПТ	350
75	Перие 2	800	16	СК/Т	12	8	2.7	ПТ	1700
76	Югославия, РТБ Бор	760	15	К/Т	16	6	2.5	ПТ	1500
77	Стари Търг	880	6	К/Т	6	4	2.24	ПТ	280
78	ЮАР, Премиер N 3	790	10.9	С/Т	4.5	6	2.25	ПТ	335
79	Кофифонтан N 2	1000	5	К/Т	6.1	6	2.2	ПТ	360
80	Уеселтон N 2	1220	5	К/Т	7.6	6	1.5	ПТ	275
81	Уестърн дийп N 3	1890	13.7	С/С	18.3	4	5	АД	2х2208
82	Уест Драйфонтейн N 3	1190	11	С/Т	15,3	2	5,34	ПТ	1545
83	Вал Рийф С N 2	2100	12.8	С/С	18.3	4	5.25	АД	2х2208
84	Япония, Понбецу	1260	12	С/С	16	2	5.6	ПТ	1400

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

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

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

Заключение

Новото и приносът на направеното изследване е:

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

Литература

Йочев И. Щ., 2002, *Изследване на състоянието и избор на решение за модернизация на рудничните подемни уредби в системата на Горубсо, дисертационна работа*.

Картавъй Н.Г., 1981, *Стациаонарнъе машинъи*, М. Недра.

Янева А., Переновски Н., 2003, *"Ръководство за упражнения по РПУ"*, издателска къща МГУ.

ABB – ASEA Brown Bovery, 2002.

GHH-Siemag, 2001.

Thyssen- Krupp- Foerdertechnik, 1998.

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 23-28

Подобряване на експлоатационните и ремонтни показатели на задвижващия механизъм на барабанните мелници (МШЦ 4,5/6) в минните обогатителни комплекси

Цветан Дамянов, Иван Минин

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

РЕЗЮМЕ. Извършен е преглед и анализ на проблемите свързани с експлоатационната сигурност и повреди, които възникват в задвижващия зъбен механизъм на барабанните мелници в условията на ОП "Елаците". С методите на компютърно моделно изследване е получена картината на напреженията и деформациите в областите на най – голямо натоварване на зъбната двойка "венец – водещо колело". Анализирани са възможните причини за възникване на неблагоприятни процеси на ускорено износване или аварийно разрушаване.
В заключителната част са направени изводи относно възможностите за оптимизиране на якостните критерии на сигурност за изследваните детайли както и за подобряване на ремонтната технология при възстановяването им.

IMPROVING THE MAINTENANCE AND REPAIR CHARACTERISTICS OF THE DRIVE MECHANISM OF DRUM MILLS IN MINERAL PROCESSING PLANTS
ABSTRACT. Faults related to damage and maintenance, originating at the tooth drive mechanism of drum mills at the mineral dressing plant of the "Elatsite" are overviewed and analyzed. A computer modeling study is applied to view the tension and deformations at locations of the highest loading of the tooth mesh "gear ring – drive wheel". Possible reasons for unfavorable processes of accelerated wearing and accident faulting are also analyzed.
Conclusions are presented in the paper final part about possibilities for optimizing the strength criteria for safety of analyzed details and improving the repair technologies for rehabilitation.

Увод

Барабанните топкови мелници, използвани в най – големите обогатителни фабрики в България (Елаците – мед АД и Асарел – Медет АД) са от типа МШЦ 4,5/6. Това са машини, чрез които се осъществява смилане на рудата. В процеса на обогатяване на полезните изкопаеми това е най – енергопоглъщащия процес. Освен това при работа на тези машини има и голям разход на стоманени топки, които представляват смилащата среда. Поради тези причини, технологичният процес "смилане" е най – скъпия в обогатителните предприятия. Като пример, конкретно за мелниците МШЦ 4,5/ 6, месечният разход е от 120 -140 т. стоманени топки при инсталирана мощност – 2500 кВт.

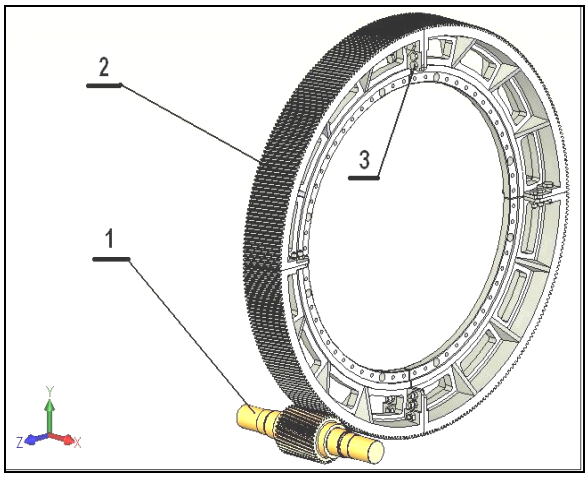
От друга страна, този тип мелници са най – тежките, габаритни и скъпи машинни в комплекса. Към изложеното до тук може да се добавят и големите технологични проблеми при спиране на един или повече мелнични агрегати, тъй като процесът на смилане не е осигурен с междинен склад на продукта, както е в трошачното отделение на предприятието.

Изложените до тук особености на технологичния процес, в който работят барабанните мелници МШЦ – 4,5/ 6, както и техническите и експлоатационните им параметри, определят тяхната голяма значимост за производствения процес в обогатителните фабрики. Следователно всички изследвания с научно – приложен характер в областта на подобряване на експлоатационните сигурност и срок, намаляване на ремонтните разходи и повишаване качеството на ремонтните операции, могат да имат значителен и ефективен икономически резултат.

В същото направление е и тази изследователска работа, като предмет на изследване е зъбният предавателен механизъм на топкова мелница МШЦ – 4,5/6.

Подробното запознаване с опита от многогодишната експлоатация и ремонтна дейност на такива машини са базата за определяне на силовата зъбна предавка като обект на това изследване.

Задвижването на мелничния барабан се осъществява чрез синхронен двигател с мощност 2 500kW, който посредством съединител задвижва водещия вал 1 на зъбната предавка (виж фиг.1). На същата фигура може да се види и водимият зъбен венец 2, който предава движението на барабанния мелничен корпус.



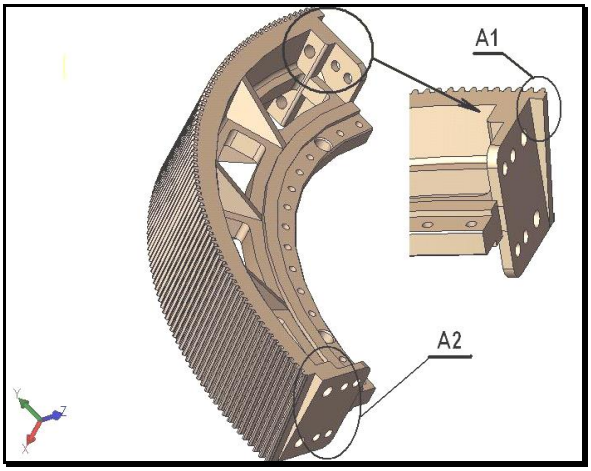
Фиг. 1.

Основните технически параметри на зъбния предавателен механизъм са дадени в таблица 1, а на фиг. 2 могат да се видят характерните конструктивни особености на зъбните сектори, от които е сглобен венецът чрез специални болтови съединения.

Таблица 1

Параметър	Водещ вал	Водим венец
Делителен диаметър, мм	753	6 395
Брой зъби – z, бр.	35	316
Ъгъл на наклон на зъба,°	6°	6°
Маса, кг.	4 650	26 000
Въртящ момент, KNm (максимален)	160	1 445
Честота на въртене – n, 1/сек	2.44 2.51	0.263 0.278

Тази съставна конструкция се определя от технологични предпоставки, свързани с изработването на венеца, който е с големи габаритни размери. Главен недостатък на такова техническо решение е намалената коравина на зъбите над конзолния праг поради намаленото от въздушната междина, сечение в областта A1,(Фиг. 2). От своя страна посочените особености създават предпоставки за увеличена деформация и повишени локални напрежения в и около зъбите от тази област.



Фиг. 2.

Описаният механизъм представлява открита цилиндрична зъбна предавка с наклонени зъби. От техническите данни в таблица 1 се вижда, че това е ниско скоростна и силно натоварена механична предавка, която работи при относително малка динамика на преходните и установени режими, но при силно влошени условия за ефективно смазване и защита от агресивно външно въздействие на работната среда.

Поради тези причини, най – честите повреди са напукване и чупене на зъби, както и късане на зъбния вал около лагерните шийки. За зъбния венец е особено характерно интензивното износване на зъбите до степен, при която сечението на зъбите добива триъгълна форма.

Подобряването на експлоатационния срок и сигурност чрез намаляване на предпоставките за механични повреди като недопустими напрежения от претоварване, неблагоприятно натоварване или концентрация на напрежения поради конструктивни недостатъци е главната задача на изследването.

То е извършено чрез методите на компютърната симулация и анализ с метода на крайните елементи (МКЕ). Като база са използувани тримерни CAD – модели на изследваните обекти или части от тях.

Методика на изследването

С цел получаване на възможно най-точни резултати, процесът на изследване е осъществен съгласно предварително разработена методика и се характеризира със следните особености:

1. Прецизно параметриране на геометричните модели по форма, метрика и физико-механични константанти на материала .

2. Определяне на условията на силово натоварване по големина и разпределение.

3. Дефиниране на ограниченията на степените на свобода.чрез пълно фиксиране или ограничаване на една или две степени на подвижност на съответните повърхнини на обекта.

4. Прецизиране на силовото натоварване върху контактната повърхност на зъбните двойки, като е отчетено разпределението на тази контактна сила (F_n = 233 KN) върху повече от един зъб, така както е при зъбни предавки с наклонени зъби. В случая при ъгъл на наклона δ = 6 °, най - неблагоприятното разпределение на нормалната контактна сила върху хеликойдалната контактна повърхност се осъществява едновременно върху два съседни зъба.

5. Уточняване на видовете и броя на симулационните студии както следва:

- линеен структурен анализ на обектите на изследване с цел определяне на големината и разпределението на еквивалентните напрежения (по von Misess), а при необходимост и на коефициента на експлоатационна сигурност (FOS)

- честотен анализ на същите обекти и определяне на собствените (резонансни) честоти и форми с оглед тълкуването на опасността от възникване на резонансни явления при определени режими на работа.

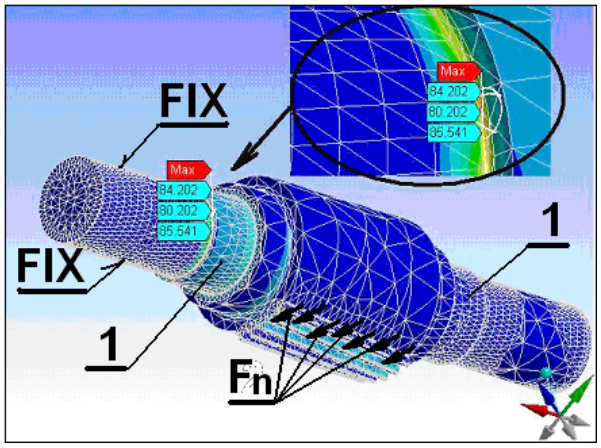
6. Оптимизиране на обектите с цел намаляване до приемливи граници на изчислителните операции, в съответствие с възможностите и производителността на използваните микропроцесорни изчислителни машини .

Резултатите и анализ

Съгласно описаната по-горе методиката са моделирани и симулационно изследвани, показаните на фиг. 3 до фиг. 13 обекти В първата част са представени резултатите от извършения линеен структурен анализ на деформационно напреженовото състояние, а във втората - на собствените трептения на задвижващия вал и зъбни сегменти с 5 зъба от зоната A1, която е с най-неблагоприятно натоварване на зъбите в тези области на венеца.

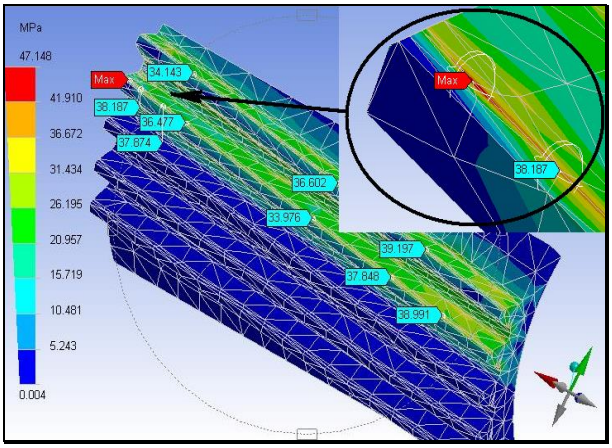
Деформационно-напреженов структурен анализ

Водещ вал **–** Този елемент от предавателния механизъм (фиг. 3) е изработен от прокатна въглеродна стомана и предава едностранно чрез шийката (FIX) двигателния въртящ момент ($M_{д\,в}$ = 160 KHм). Лагерните опори са разположени върху повърхностите **1** на съответните цилиндрични шийки и ограничават преместването в радиално и аксиално направление.



Фиг. 3.

Натоварването на зъбите от приложената върху контактната повърхност, разпределена сила F_n е показано на същата фигура. Тъй като моделирането на вал с 36 зъба ще увеличи неприемливо броя на крайните елементи при дискретизацията, то бе прието да се работи с модел, който има зъбонарязване в малка област (5 зъба). С цел прецизиране на резултата от студията за определяне картината на деформациите и напреженията при зъбите на вала, е извършено второ изследване на друг модел ,който представя само зъбонарязаната част от вала (виж фиг.4).



Фиг. 4.

Показаните в различни характерни точки стойности на напрежението се отнасят за еквивалентното по von Misses напрежение, тъй като зъбите са натоварени едновременно на натиск и огъване

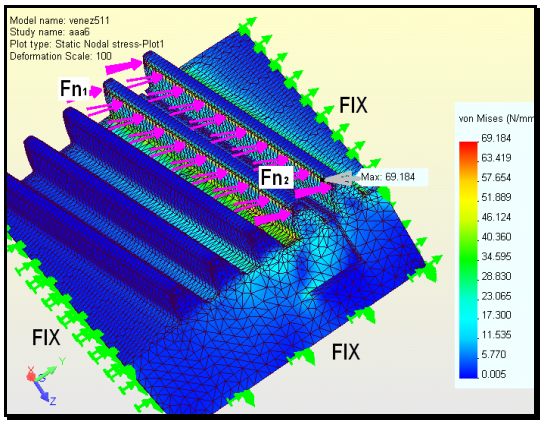
Напреженията по von Misses могат да се изразят чрез трите главни напрежения:

$$\sigma_{von} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}}\ , \text{Pa}$$

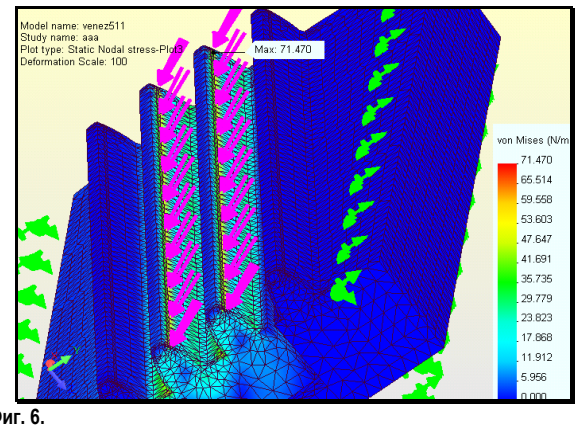
Характерна особеност за силовото натоварване на зъбите при съвместната работа на тази цилиндрична предавка с наклонени зъби (δ = 6 °), е че са избрани възможните най-тежки условия на работа при които и двата зъба понасят едновременно максималното натоварване в непосредствена близост до върховете си При тези условия на фиг. 4 се вижда, че средната стойност на най-големите еквивалентни напрежения са получени върху същите контактни повърхнини и се променят в тесни граници (36 – 39 MPa). Най-голямата стойност на σ_{von} от тази студия е σ_{von} = 47 MPa и локализирано в края на един от зъбите. Анализът на увеличения частичен изглед от фиг. 4 показва, че това максимално напрежение е получено за област със силно деформирана мрежа на крайните елементи. Това може да се обясни като отклонение в точността на работа на изчислителния модул, поради влошените параметри на дискретизация в тази част от модела.

На фиг. 3 максималните напрежения достигат (85 - 87 MPa), но само за концентратора на напрежение, който се е получил в основата на стъпалото между две от шийките на вала . Това са шийки, който предават двигателния въртящ момент. За всички останали области, напреженията не надвишават (10 – 15 MPa) или коефициент на сигурност FOS > 10.

Зъбен венец – Вече бяха разгледани особености на конструкцията и обосновано очакваното неблагоприятно натоварване на зъбите, които са разположени в областите на свързване на съседните сегменти на венеца. По тази причина всички опити съгласно методиката на изследване, са насочени към многовариантно изпитване на опростен представителен модел. Такъв е геометричният модел от фиг. 5 до фиг. 8, който представя част от венеца с 5 зъба от зоната с Г-образно подрязване на основния пръстен. За различните случаи са варирани разпределението на натоварването върху зъбите, както и посоката на въртене, която променя направлението на силите F_n



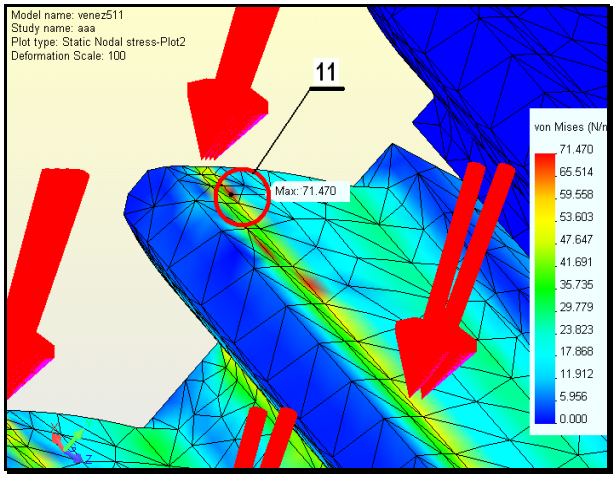
Фиг. 5.



Фиг. 6.

Фиг. 6 показва картината на разпределение на напреженията при работа (натоварване) на двата подрязани зъба,

а на фиг. 7 е локализирана зоната на максимално напрежение: σ_{von}^{max} = 71,5 MPa.



Фиг. 7.

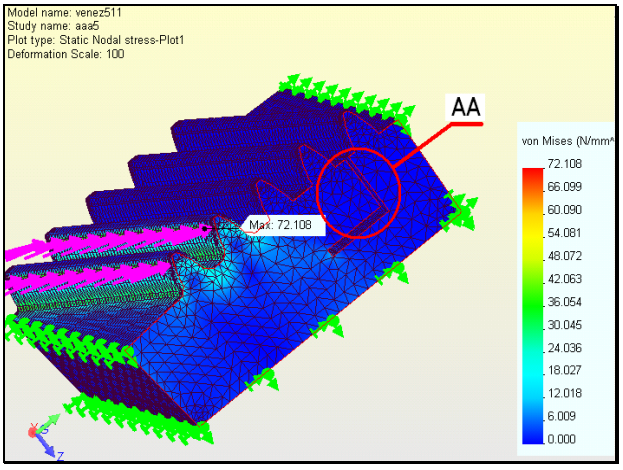
И в този случай това е област от края на зъба, където се променя геометрията на модела и качеството на дискретизация.

От разгледаните варианти на натоварване на венеца могат да се направят следните изводи:

1) Долната граница на коефициента на сигурност в областите с най-големи еквивалентни напрежения на слиза под 2, т.е. FOS > 2 и то за контактните повърхности на зацепване между зъбните двойки на венеца и вала. При това може да се получи интензивно износване ако условията на смазване са неблагоприятни.

2) В областта АА (фиг. 8) за случай на натоварване както и при фиг. 6 ще настъпват периодични деформации на подрязаната част от основата на зъба. По абсолютна стойност огъването не надвишава δ= 15.10^{-3} mm, а еквивалентното напрежение - σ_{von} = 17 MPa.

3) Всички резултати от фиг. 5 до фиг. 8 показват, че еквивалентните напрежения извън зъбонарязаната част на венеца са σ_{von} < 6 MPa и FOS > 25. Това се отнася за всички зони в областта на основния пръстен.



Фиг. 8.

Собствени честоти и форми

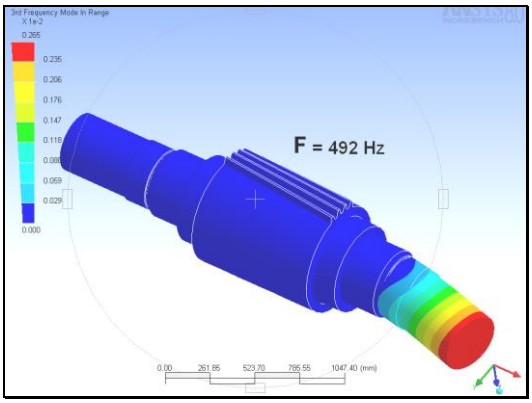
Неблагоприятните последствия от възникването на условия за резонансни явления в механичната система "вал-венец" е предпоставка за извършване на компютърно изследване на механичните трептения. Посредством някои специализирани инженерни приложения на МКЕ за честотен анализ на механични обекти, тук са определени собствените честоти и форми на двата елемента (вал и венец). Методиката на симулационното изследване отразява следните специфични особености:

- Задвижващият зъбен вал получава повреди както на зъбите, така и на шийката, която предава въртящия момент и за това е изследван като цял обект.
- Зъбният венец се повреждa най-често в областта на зъбния гребен. От друга страна този възел има много големи габаритни размери, което определя изключително голям брой на крайните елементи (N_k > 10^6) при дискретизацията и практически неприемлив обем на изчислителните операции. Поради тези причини тук и в този случай е достатъчно да се изследва не целия венец, а само характерна и представителна част от него. Това е същия обект, който беше използван и при структурния анализ и представлява сегмент с 5 зъба от областта АА (виж фиг. 6), където сечението на венеца е отслабено поради конструктивна-технологични причини.

Водещ вал – Резултатите от честотния анализ на вала са представени в табличен вид (Табл. 2) и визуализирани за III хармонична (f_3 = 492 Hz) на фиг. 9 и на фиг.10 за V хармонична (f_5 = 777 Hz). Може да се установи, че застрашени от опасност за резонанс са тези части на вала, които нямат ограничение на степените на свобода (свободна шийка и основната зъбонарязана част между лагерните опори). На фиг. 9 се виждат много добре в подходящ мащаб, възможните деформации при трета хармонична честота на свободната крайна шийка на вала. Собствените трептения при тази честота са в равнина, перпендикулярна на оста.

Таблица 2

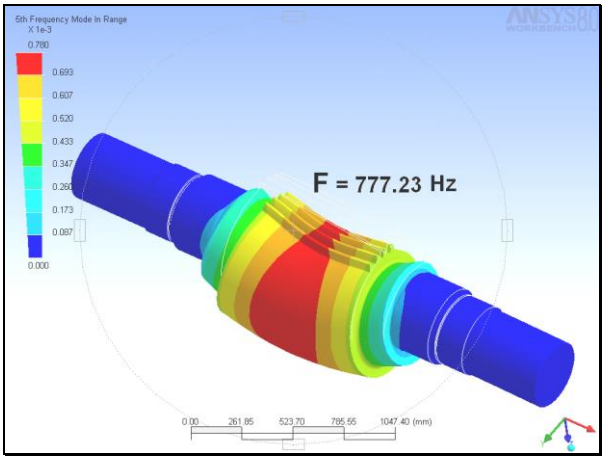
№	Параметър	Честота , Hz
1.	I Резонансна	F_1 = 221 Hz
2.	II Резонансна	F_2 = 491 Hz
3.	III Резонансна	F_3 = 492 Hz
4.	IV Резонансна	F_4 = 772 Hz
5.	V Резонансна	F_5 = 777 Hz
6.	VI Резонансна	F_6 = 938 Hz



Фиг. 9.

Фиг. 10 показва картината на деформациите при V хармонична честота (f_5 = 777 Hz). Вижда се, че в този случай

се променят формите на зъбонарязаната част на вала, което може да създаде неблагоприятни условия при работа на зъбната двойка "вал-венец".



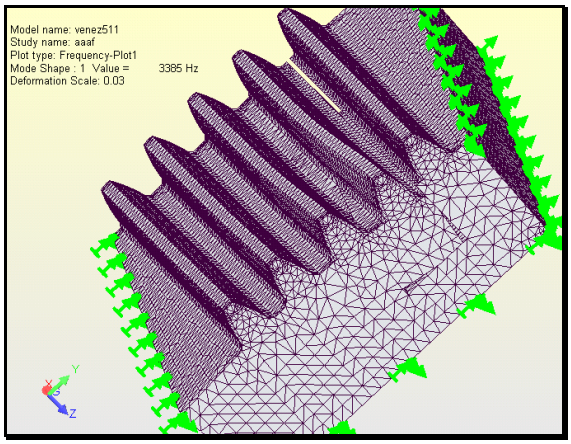
Фиг. 10.

Казаното по-горе е от значение при появата на принудени механични трептения с близки или равни на собствените честоти.

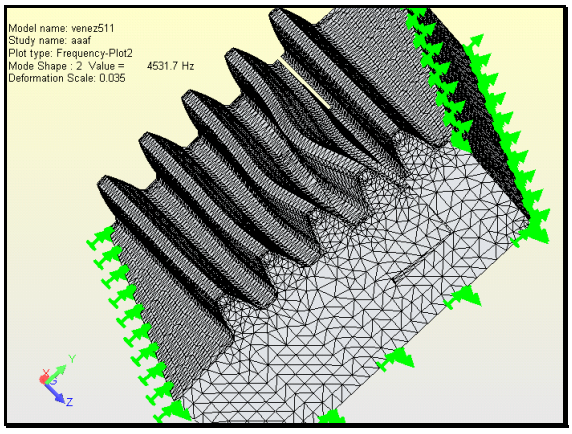
Зъбен венец - В табл. 3 са обобщени резултатите от честотното изследване на зъбния венец и представени като деформации на фиг. 11, фиг. 12 и фиг. 13. И за трите случая при f_1 = 3385 Hz, f_2 = 4531 Hz и f_3 = 4691 Hz е характерно, че собствените трептения се проявяват в най-голяма степен при зъбите около подрязания конзолен участък в зоната на свързване на съседните сегменти от венеца. Друга особеност е появата на сложни по форма деформационни вълни при нарастване на честотата на собствените трептения. Трябва да се отбележи, че при възникване на условия за такива деформации, като принудените трептения с близка до тази собствена честота ще настъпи силно и неблагоприятно изменение на контактните условия между сдружените зъбни двойки. В този случай не съществува опасност от възбуждане на резонансни явления тъй като собствените честоти са много по-високи от принудените в стационарен режим.

Таблица 3

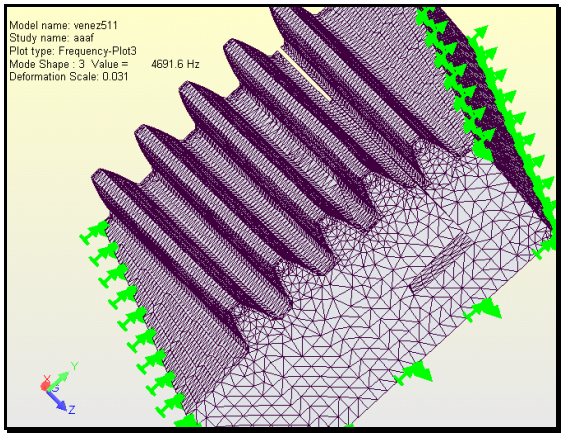
Mode No.	Frequency(Rad/sec)	Frequency(Hertz)	Period(Seconds)
1	21277	3385	0.00029542
2	28485	4531.7	0.00022067
3	29490	4691.6	0.00021315
4	34290	5455.2	0.00018331
5	37082	5899.4	0.00016951



Фиг.11.



Фиг. 12.



Фиг. 13.

Обобщаващи изводи

1. Анализът на резултатите от извършения линеен структурен анализ показва, че най-големите стойности на деформациите и напреженията са локализирани в две области – контактните повърхнини при съвместна работа на зъбните двойки и концентраторите на напрежение в преходите (стъпалата) между различните повърхнини. За вала това е силно изразено (виж фиг. 3) в стъпалото между задвижващата и опорната лагерни шийки. В съчетание с периодичното знакопроменливо натоварване при въртене, в тази зона може да настъпи умора на материала и разруша-

ване. Експлоатационната практика потвърждава направения извод.

2. В областите на свързване на зъбните сектори от венеца настъпват радиални периодични деформации на конзолните прагове с честота f_1 = 0.26 Hz и f_2 = 3385 Hz и амплитуда δ = 15.10^3 мм. Въпреки малката амплитуда и ниска честота, тези участъци от зъбния венец при такава конструкция създават условия за намалена уморна якост на материала и ускорено износване на зъбния профил на венеца и вала. По тази причина авторите смятат, че е необходимо да се извърши реконструкция на зъбния венец в областите на свързване между отделните сектори.

Заключение

Използваният изследователски метод за статично моделно симулационно изследване на зъбния предавателен механизъм на топковите барабанни мелници МЦШ-4,5/6 позволява чрез компютърното инженерно приложение на МКЕ да се получи деформационно-напреженовата картина на голямо-габаритен и тежко натоварен механизъм. В минната практика тази възможност има голямо значение, тъй като прогнозните резултати са предпоставка за научно-изследователска работа в следните направления:

1. Детайлно аналитично изследване за различни частни случаи на натоварване при стационарни и преходни работни режими ;

2. Експериментално изследване в промишлени условия;

3. Подобряване на техническо-експлоатационните параметри на барабанните мелниците от този тип;

4. Подобряване на ремонтната технология и усъвършенстване на конструкцията на този вид механизми

Литература

ТехноЛогика ЕООД, *SolidWorks – Основен курс*, София, 2004.

Цветков Хр. *Обогатителни машини*, София, Техника, 1985.

Дамянов, Ц., Михалков, З., и др., *Симулационно моделиране на минни транспортни машини и системи*, Отчет по тема № 13/2001 на МЕМФ, 2001, София, МГУ.

Стойчев, Г., *Метод на крайните елементи*, София, 2000.

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 29-31

Study of the Centrifugal Impact Vibrating Mill [Civm] Productivity

Emil Assenov, Marieta Yancheva

Technical University-Sofia, 1756 Sofia

ABSTRACT. The aim of this work is to present a study of productivity of centrifugal impact vibrating mill. Using theory of similarity and theory of experiment criteria of similarity and criterion equation are derived. Experimental plan is made and the results are statistically assessed. Criterion equation is adequate.
Key words: theory of similarity, criterion, experimental plan, statistics.

ИЗСЛЕДВАНИЯ ВЪРХУ ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТТА НА ЦЕНТРОБЕЖНА УДАРНО-ВИБРАЦИОННА МЕЛНИЦА
РЕЗЮМЕ. Целта на тази работа е да се представят резултатите от изследването на производителността на центробежна ударно-вибрационна мелница. Изведени са критерии и критериални уравнения като се използва теорията на подобието и планирането на експериментите. Съставен е план на експеримента в критерии и са дадени резултатите от статистическия анализ на резултатите. Получено е адекватно критериално уравнение за производителността на мелницата.

Introduction

The quality, productivity and energy consumption of CIVM (Assenov,1977) were studied in (Assenov, 2003) and (Assenov, 2003). The ruling factors were: Gm –the weight of material to be grinded, Gt- the weight of the grinding balls, ω- angular velocity of rotated cone and t- the time of grinding. Statistical equations were derived based on nature experiments in CIVM model.

The aim of this work is to present a study of productivity of CIVM when simulation and experiment theory are applied.

Theoretical base

The results about CIVM mentioned above are valid only for the values of interval of variation of ruling factors Gm, Gt, dm, t. When we have to design series of CIVM with different productivity we have to transfer those results with out restriction of values of interval variation. For this purpose both theory of simulation and theory of experiment were put into practice.

In the theory of similarity (Venikov, 1979) the base concepts is "phenomenon" as a complex of processes that are describe by equation connected process parameters and examined system parameters. In the CIVM relationship between productivity and ruling factors are consider. The processes in the real system and model must be similar.

There are (Venikov, 1979) three theorems and additional states on the theory of similarity. The first two theorems states the relationship between similar phenomena parameters and the third one determines the way to realization of similarity.
Sufficiently condition for existing of similarity of processes is similarity criterion to be:

$$P_i=item \quad (1)$$

The most simple case for similarity is proportionality:

$$P_i/R_i=mi \quad (2)$$

where P_i and R_i are system and model parameters, m_i is coefficient of similarity. If m_i=constant there is a linear similarity, if $m_i \neq$constant –pseudo similarity.

Estimation of similarity criteria for the CIVM productivity.

The estimation method for similarity criteria of the CIVM productivity is:

1. Describe the ruling parameters $P_1, P_2 \ldots P_m$
2. Make the dimension matrix for those "m" parameters.
3. Chose the K independent parameters.
4. Define the criterion.
5. Make the criterion' equation.

The ruling parameters of the CIVM productivity are:
G_m- the weights of gnats sand to be grinder;
G_t- the weight of the grinding balls;
ω- the angular velocity of rotated come;
t- the time for grinding;
d_m- the diameter of quarts sand;
P- the productivity;
The dimensions DUSI unites of the parameters are:

$$[G_m]=[kg];\ [G_t]=[kg];\ [\omega]=[s^{-1}];\ [t]=[s];\ [d_m]=[m];\ \text{and}\ [P]=[kg.s^{-1}]; \quad (3)$$

The dimensions system is:

$$\begin{aligned}[G_m] &= [M]^1.[L]^o.[T]^o\\ [G_t] &= [M]^1.[L]^o.[T]^o\\ [\omega] &= [M]^o.[L]^o.[T]^{-1}\\ [t] &= [M]^o.[L]^o.[T]^1\\ [d_m] &= [M]^o.[L]^1.[T]^o\\ [P] &= [M]^1.[L]^o.[T]^{-1}\end{aligned} \quad (4)$$

Three independent parameter for instance are:
$[G_t]$, $[d_m]$ and $[\omega]$

The check for independence of these parameters is made by value of determinant:

$$D = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{vmatrix} \neq 0 \qquad (5)$$

The criteria of similarity π1 are derives from the system of exponents α', β', γ'.

$$\pi_1 = \frac{[P]}{[G_t][d_m][\omega]} = \frac{[M]^1[L]^0[T]^{-1}}{[M]^{\alpha 1}[L]^{\beta 1}[T]^{\gamma 1}} = \frac{P}{G_t \omega}$$

$$\pi_2 = \frac{[G_m]}{[G_t][d_m][\omega]} = \frac{[M]^1[L]^0[T]^0}{[M]^{\alpha 2}[L]^{\beta 2}[T]^{\gamma 2}} = \frac{G_m}{G_t} \qquad (6)$$

$$\pi_3 = \frac{[t]}{[G_t][d_m][\omega]} = \frac{[M]^0[L]^0[T]^1}{[M]^{\alpha 3}[L]^{\beta 3}[T]^{\gamma 3}} = \omega.t$$

The mathematical formulation of the problem is:

$$\pi_1 = f[\pi_2, \pi_3] \qquad (7)$$

$$P/G_t.\omega = f[G_m/G_t, \omega t] \qquad (8)$$

The theory of experiment (Bojanov, 1972; Jeff Wu, 2000) are used to reveal the function f. The experimental results from (Assenov, 2003) are transformed as follows:

1. The criterion's πi are calculated using equation (6).
2. The experimental plan for criteria is made and is shown in the table (1).

Table №.1
The experimental plan for criteria

№	π_1	π_2	Y
1	1	5026,547	5,3184E-05
2	1,6666667	5026,547	0,0001439
3	0,6	5026,547	6,2906E-05
4	1	5026,547	4,6619E-05
5	1	15079,64	0,00010902
6	1,6666667	15079,64	8,4883E-05
7	0,6	15079,64	2,9086E-05
8	1	15079,64	7,8185E-05
9	1	5026,547	5,1725E-05
10	1,6666667	5026,547	0,00013661
11	0,6	5026,547	5,9444E-05
12	1	5026,547	4,8874E-05
13	1	15079,64	0,00010206
14	1,6666667	15079,64	7,9688E-05
N	π_1	π_2	Y
15	0,6	15079,64	3,1552E-05
16	1	15079,64	8,4949E-05
17	0,75	5026,547	7,2963E-05
18	1,25	5026,547	0,00010047
19	0,75	7539,821	5,461E-05
20	1,25	7539,821	7,3278E-05
21	0,75	15079,64	3,0886E-05
22	1,25	15079,64	5,8108E-05
23	0,75	22619,46	2,7023E-05
24	1,25	22619,46	4,0231E-05
25	0,75	5026,547	7,6842E-05
26	1,25	5026,547	0,00010842
27	0,75	7539,821	5,4212E-05
28	1,25	7539,821	7,6262E-05
29	0,75	15079,64	3,6158E-05
30	1,25	15079,64	6,1838E-05
31	0,75	22619,46	2,7885E-05
32	1,25	22619,46	4,1999E-05

The experimental data are processed by the program Regression of Data-Analysis in Excel.The results of Data Analysis are shown in table №2

Table №2
Result of statistic analysis

Regression Statistics	
Multiple R	0,752248
R Square	0,565876
Adjusted R Square	0,535937
Standard Error	2,08E-05
Observations	32

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	2	1,63E-08	8,17E-09	18,900625	5,56E-06
Residual	29	1,25E-08	4,32E-10		
Total	31	2,89E-08			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*
Intercept	3,02E-05	1,41E-05	2,143	0,040	1,38E-06	5,91E-05
X Var.1	5,75E-05	1,13E-05	5,084	2,007E-05	3,44E-05	8,06E-05
X Var. 2	-2E-09	5,97E-10	-3,350	0,002	-3,22E-09	-7,8E-10

Finally the regression equation for productivity in criteria is:

$$P/G_t.\omega = 3{,}02 \cdot 10^{-5} + 5{,}75 \cdot 10^{-5}.G_m/G_t - 2 \cdot 10^{-9}.\omega t \qquad (9)$$

Conclusions

1. The similarity' criteria for CIVM productivity are derived – equation (6).
2. A criteria equation for productivity is obtained – equation (9).
3. Equation (9) will be use for making of serial CIVM with similarity process.

References

Assenov E. *"Centrifugal impact-vibration mill"* B02C17/14; №24842/07.02.77.

Assenov E, M. Yancheva *"Research of centrifugal-impact-vibrating mill /CIVM/ working process"* Angular of the university of mining and geology " St. Ivan Rilski"-Sofia, 2003.

Assenov E, M. Yancheva *"Productivity and power study of centrifugal impact-vibration mill /CIVM/*".

Bojanov *"Statistical modeling and optimization of multiple objects"* Technika, Sofia, 1972.

Venikov *"Teory of similarity"*, M., Vischa shkola ,1979.

C.F. Jeff Wu, Michael Hamada *"Experiments; Planning, Analysis and parameter design optimization"* Wiley, 2000g.

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 33-38

The Development of an Information System for Storage of Spare Parts for Mining Equipment in Open-Pit Mining

Dragan Zivkovic[1], Milorad Rancic[1], Alempije Veljovic[2]

[1]High Technical School, 23000 Zrenjanin, Serbia and Montenegro
[2]Technical Faculty, Cacak, Serbia and Montenegro

ABSTRACT. Maintenance of equipment in open-pit mining is required to have an according level of preventive maintenance. One of the most important factors having influence on the level of preventive maintenance and also on the level of success in maintenance of equipment in open-pit mining is correct planning, supply and storage of the corresponding spare parts. Correct function of the spare parts department is a condition for good function of the maintenance department, as well as the whole mining system. Introducing information systems to the process of planning, supply and storage, should ensure better function of the maintenance department, and should eliminate the possibility of an error occurring at all. The graphical presentation of the work process was done using a CASE tool, "BP win" which is a software tool for modelling operations within an organisation, its activities and the development of information systems.

РАЗРАБОТВАНЕ НА ИНФОРМАЦИОННА СИСТЕМА ЗА СЪХРАНЕНИЕ НА РЕЗЕРВНИТЕ ЧАСТИ ЗА МИННОТО ОБОРУДВАНЕ В ОТКРИТИЯ ДОБИВ
РЕЗЮМЕ. Експлоатацията на минното оборудване за открит добив е свързана с провеждането на планово-предпазни ремонти. Един от най-важните фактори, който оказва влияние върху успешното провеждане на предпазните ремонти, а също така и върху цялостната експлоатация на оборудването е организацията на дейността по планиране, доставка и съхранение на резервни части. Добре организираната складова и снабдителска дейност е предпоставка за правилното функциониране на планово-предпазната система за ремонт, а също така и за цялостната експлоатация на минната механизация Внедряването на подходяща информационна система за нуждите на складовото стопанство, несъмнено осигурява по-добра организация на ремонтната дейност. В статията се третира проблемът за използването на компютърна програма "BP win" с възможност за графическо представяне и моделиране на операциите и дейностите при разработването на информационната система.

Introduction

Big open-pit mines, like the "Kolubara", its exploitation fields "Tamnava-Istok" and "Tamnava-Zapad", feature big capacity mechanized lines (dredge-self propelled load-haul conveyor-a few transporters with rubber belt conveyors-stacker) (*figure:1*). Standstills in operation of these production lines can cause significant costs, and to prevent this, the corresponding maintenance activities are given due importance.

The primary task of the maintenance of mechanized lines used in open-pit coal mining, is not repairing them, but keeping the system work. Developing a maintenance information system is a necessary prerequisite for efficient and quality maintenance of a technical system.

Basic principles of mining equipment maintenance

Maintenance can be defined as the need to undertake technical and other activities with the primary objective to ensure good working order of equipment in the manufacturing process, together with a minimum of maintenance costs that evolve from standstills due to failure repairs or maintenance-related costs that are not directly caused by standstills.

The purpose of maintenance is to eliminate failures and prevent them from occurring, to ensure that the manufacturing system does function reliably during operation and to eliminate all standstills that could occur in the exploitation process.

Primary objectives of an organized maintenance process are:

- Minimizing cost that emerges from operating standstills caused by unexpected failures,
- Ensuring the necessary reliability level of manufacturing equipment,
- Achieving better product quality,
- Increasing the work productivity.

The above-mentioned objectives of manufacturing equipment maintenance, are based on the level of organization and the way certain maintenance methods and models are used. According to the type of organization, maintenance can be classified as: centralized, de-centralized and combined maintenance.

Basic maintenance procedures include:

1. Basic maintenance carried out by operator
   - Taking over from and delivering device to other operators,
   - Cleaning and washing,
   - Adding fuel, liquid and lubricant,
   - Tightening smaller loose junctions,
   - Monitoring the work of the device using control instruments available.
2. Preventive periodical inspections
   - Periodical inspections and smaller revisions (without special instruments),
   - Anticorrosive protection,
   - Inspections and repairs of smaller volume
3. Control inspections settled by regulation or law
   - Inspection of vessels under pressure and fire-protection devices,
   - Control of conditions at working place and in environment
   - Inspection of relay protection,

- Inspection of cranes and lifters,
- Inspection of the geometrical accuracy of machines et al.

4. Lubrication corresponding to:
- Wear and tear of parts,
- Addition, replacement and inspection of oil and lubricants,
- Control of wear and tear level of parts,
- Regeneration of oil and lubricants,

5. Technical diagnostics
- Monitoring the history of condition changes (what was),
- Technical diagnostics of condition (what is now),
- Forecast of technical condition (what will be),
- Technical diagnostics modules,
- Technical diagnostics procedures,
- Expert systems

6. Preventive replacement of system parts
- Replacement based on cost and profit,
- Replacement "according to constant date",
- Replacement "according to constant durability",
- Replacement "according to technical condition",
- Replacement according to level of readiness,
- Replacement according to level of reliability

7. Tracing and removing weak spots
- Algorithm for tracing weak spots or failures,
- Innovations and rationalization

8. Repair and renewal of worn parts
- Repair procedures
- Renewal procedures

9. Preventive periodical repairs
- Small scale (easy) repairs,
- Medium scale repairs

10. General preventive repairs (overhaul and modernization)
- Large scale preventive repairs (general repairs)
- Modernization of technical systems [3]

Therefore, a maintenance procedure comprises a sequence of steps (procedures) essential for preventing a defect from occurring, and for keeping the parameters of the considered equipment's objective function within limits of allowed deviations as long as possible.

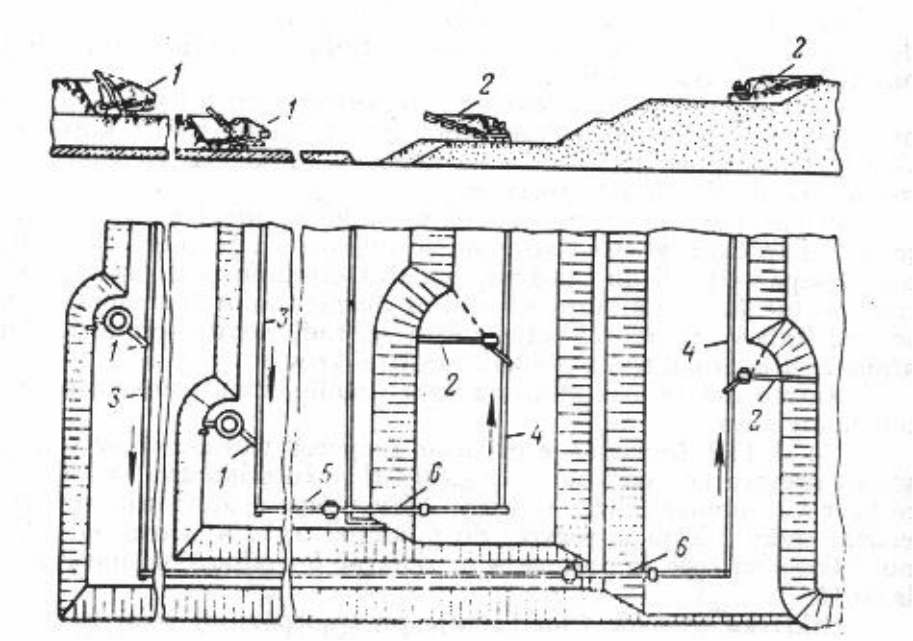


Fig. 1. Schematic representation of an open pit
(1-dredge; 2-stacker; 3-transport belt conveyors; 4-stacking conveyors; 5 and 6-load and haul belt conveyor)

The elements of failure on mining machines

The basic elements, causing mining machine failures in most cases, and also smaller and larger standstills in their operation, are:

Gear damage on mining machines is one of the most frequent causes of failure. Gear damage makes 60% of all damage on mining machines.

Bearing damage is the second-biggest cause of failure on mining machines and it makes 20% of all failures during operation of mining equipment. Bearing failures on dredges and stackers, regarding their dimensions (and high purchasing costs), are an important element of their maintenance.

Shaft damage on mining equipment is mainly caused by the weariness of material, leading to deformation and breaking. Deformation most frequently occurs on bolt grooves and slots.

Conveyor rollers d*amage* (supporting, surface, suspension) can cause a great number of standstills in open-pit mines. The most frequent damages on conveyor rollers are caused by:
- roller bearings being damaged due to water or dirt entering through their sealing system, which makes 75% of all bearing failures,
- wear and tear of cylinders. Especially exposed to wear and tear are, return and suspension rollers, e.g. their rubber sealing rings.

Due to this fact we can say, that the working life of the bearings, and the conveyor rollers, depends on the quality of the bearing's sealing system and its maintenance (lubrication).

The percentage of rollers replaced, in relation to the total number of built-in rollers, during six years of exploitation, is shown in *table 1.*

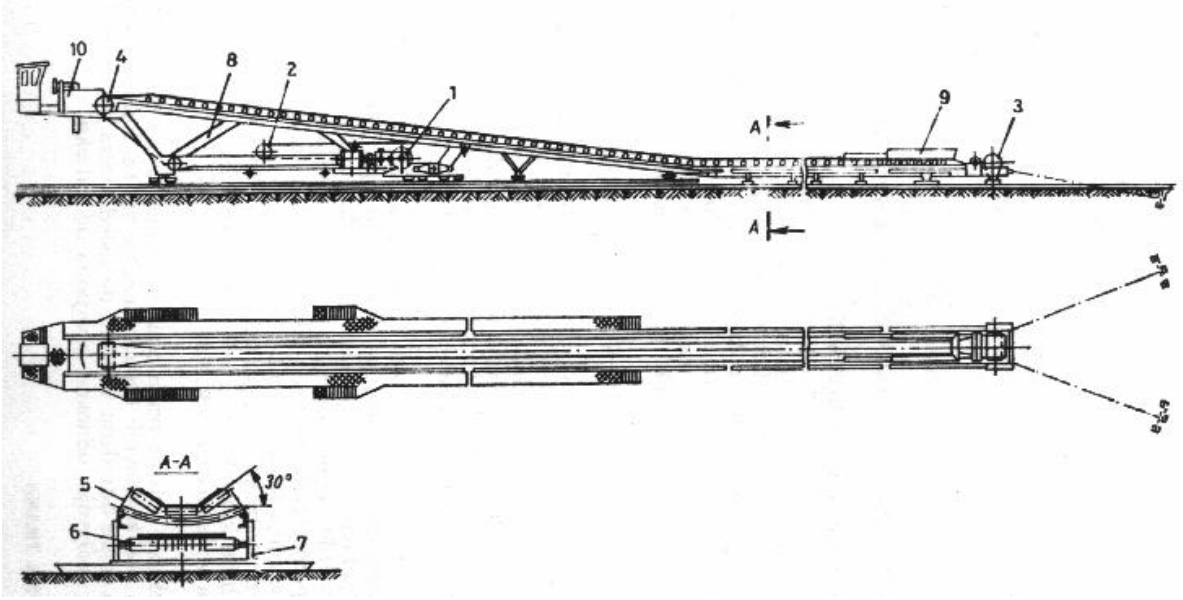
Table 1.
Percentage of cylinders replaced, in relation to the total number of built-in rollers, during six years of exploitation

Manufacturer	Exploitation period (years)					
	1	2	3	4	5	6
Krupp	1	2-3	15	30	70	90-100
NKMZ	3-7	10-17	40	70	100	
DMZ	3	12	30	70	90	100

Conveyor barrels damage in open-pit mines (figure:2) most frequently is caused by:

- the weariness of the barrel walls due to extended working time of the conveyor,
- an indentation (this type of damage makes 80% of all standstills of the conveyor),
- a crevice in the steel housing of the barrel (with or without a rubber coating), or housing (barrel body) caused by plastic deformations on the shafts (this type of damage makes 80% of all standstills of the conveyor).

Chain wheel gear damage on mining machines is also a cause of failure. In most cases, the driving and pulling chains are damaged.



Slika 2. **Schematic representation of disposition by conveyor**
(1-driving unit; 2-strain device; 3-return barrel; 4-main-unloading barrel; 5-rollers on the loaded side; 6-rollers on the return side; 7-supporting framework; 8-support at driving unit; 9-loading hopper; 10-control device)

Spare parts

In order for maintenance to fulfill its function, a certain amount of consumable material has to be available, as are:

- raw material,
- intermediates,
- finished parts
- spare parts
- consumables

The purpose of supplying spare parts is: fast and efficient replacement of a damaged part, and minimizing the time waiting for a certain technical system to be repaired, and to maintain the rationality of business.

Spare parts can be:

- standard spare parts,
- special spare parts, e.g. parts that are manufactured according to a drawing.

The economy of stock costs is important information, since annual stock costs for material and spare parts make more than 25% of the total value of stock, in the following order:

- obsolescence of spare parts and material 10 %
- interest rates on bound assets 8 %
- damage, aging and similar 5%
- storage costs 4%

Spare parts are being kept in stock because parts of technical systems are worn out and stop functioning. In order to prevent production and maintenance standstills, a certain amount of the most frequently worn out parts, has to be available at any time.

The amount of required spare parts can be determined using the following expressions:

1. The minimum amount of required spare parts is determined using:

$$Q\ min = 0{,}4\ t_i\ Z\ q\ /\ Tt \qquad (1)$$

where:
Q min -minimum stock of a single spare part,
t_i -time required for providing the spare part (manufacturing or purchasing it),
Z -number of equipment items where the considered spare part is to be built in,
q -amount of parts per machine (equipment) being maintained,
T_t -average life (working life) of equipment being maintained.

2. The maximum required amount of spare parts is determined using:

$$Q\ max = Q\ min + Qe \quad (2)$$

where:
Q max -maximum stock for a single spare part
Qe -cost-effective amount

$$Qe = ((2\ Cu\ q_q) / (Cf\ Cs))^{1/2} \quad (3)$$

where:
Cu -total costs (din/unit),
q_q -amount consumed during the considered period of time (units),
Cf -price per unit (din/unit),
Cs -storage costs

3. The size of the spare parts stock, at which a new amount of spare parts has to be ordered, is called alerting stock amount. The alerting stock amount is calculated from:

$$Qs = Qm\ t_i \quad (4)$$

where:
Qs -alerting stock amount (units)
Qm -expected maximum consumpton (units/year)
t_i -time required to provide a part

Information system

A proper design of information flow within an information system for production equipment maintenance allows a well-timed, precise, adequate, actual and concrete understanding of all the activities, and within them also a detailed single analysis of every planned activity.

Modern terms of production organization state that an information system is a group comprising clearly defined rules, practical experience and working methods where persons, groups (or both) should work on putting the data given into the computer. The computer will process information so as to release information which will enable other persons to make a decision in given business situations.

The Task of the designer of information flow within an information system is to convert, by processing them, input information into output information, useful for decision making. The feedback has the task to control whether the output value is a real value, and if at the output we dont get a real, expected value, the input data is examined and corrected (the existence of an error at input or in processing is examined). There always is a possibility of error in input information and data processing.

An information system is considered good if it disposes of an adequately organized collection of methods which make possible the circulation of data and information through all subsystems and links, while there is a well-timed information feedback to the user.

To establish an information system in order to design the information flow it is necessary to:

- collect data,
- process data,
- save (store) data,
- distribute data and information for use.

All information systems are based on the following elements:

- data input,
- file structure,
- logical procedure,
- forms and documents,
- data processing device,
- output.

The basic task of an information system is to offer relevant information to a business system about the current state of the system, as a decision making basis for the management of the business system. For an information system to function properly, it is necessary, regarding the great number of persons involved, that every participant, without exception, consistently act following the same working methodology, and offer information, necessary for their own tasks and the tasks of other participants in this joint process to be execute in time.

Case tools

CASE (*Computer Aided Software Engineering*) is a software tool for modeling, among other things, the business process within a company, its activities and the modeling of information systems.

Among many of the effects concerning the use of CASE tools, the following can be accented:

- improvement of communication between user and designer,
- less need for changes requested by users,
- significant reduction of maintenance costs,
- Better project management.

The program BP Win is part of a CASE tool and serves for modeling a company's business, its activities, and for designing and developing an information system. BP Win can also be used for the presentation of a company's existing information system, as well as for graphical presentation of organizational and working instructions concerning the system of quality ISO-9000.

With the assistance of BP Win-a the following diagrams could be assembled:

Contextual diagram - Figure 3., shows the basic flow of data and is presented by a process and its links to the surrounding. On it we can see input information flows for a observed process, the output information flows from the observed process, control functions which act upon the observed process and resources necessary for processing incoming information. The contextual diagram is a more general diagram of data flow.

Hierarchical decomposition of the process starts with the definition of the contextual diagram where the whole information system is being treated as one process, and ends in a primitive process e.g. a low-level process for which action diagrams are defined (so-called process sequences).

Data flow diagram - Figure 4., is an assembly of parallel processes and links between them with data flow and data files(archives). It is more detailed than the decomposition diagram and is used where it is possible to define processes, inputs and outputs from the process, , archives and links to other processes and other adjacent data diagrams.

Decomposition diagram - Figure 5., is a graphical presentation which hierarchically describes a process or object which consists of more sub-processes of the same type, and

these again divide into sub-processes of the same type e.g. a complex process develops into a hierarchy of sub-processes having the shape of a tree. The root of the tree is a starting process and the last branches present the most simple processes which can not be further divided into sub-processes.

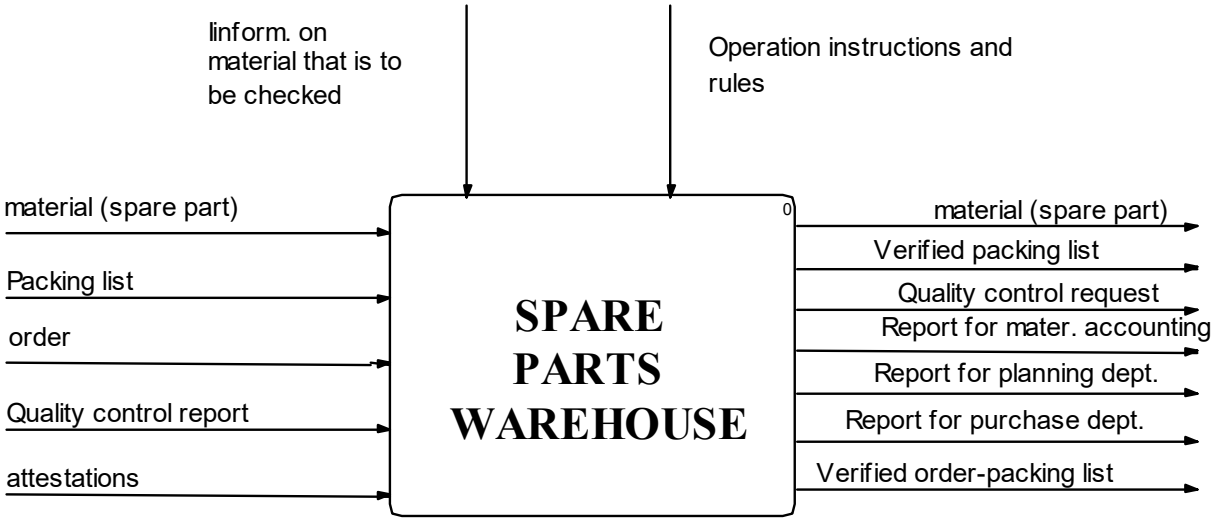


Fig. 3. Contextual diagram of a spare parts warehouse

Conclusion

Combining various maintenance strategies (preventive maintenance, maintenance according to state, and correction maintenance), emphasizing maintenance according to state, and modernizing diagnostic methods (and the corresponding equipment) is a way of successful maintenance of mining machines. By introducing an information system to the mining machines maintenance process, the efficiency of mining machine maintenance management can be increase a lot, and the occurrence of errors in the maintenance process can be prevented, too.

Regardless of the way in which an information system is designed, network planning, software CASE tools or using some other method, the goal always goes down to facilitating and avoiding errors in the design of an information system, i.e. the design of information flow.

The examined design of information flow within the mining machines maintenance process, applying the application of CASE (Computer Aided Software Engineering) software, the program BPwin, on the process of single design of information flow for spare parts as one of the significant elements in all the maintenance activities, is a model which can successfully be applied as well on mining machines maintenance as on resolving similar problems, especially with production activities.

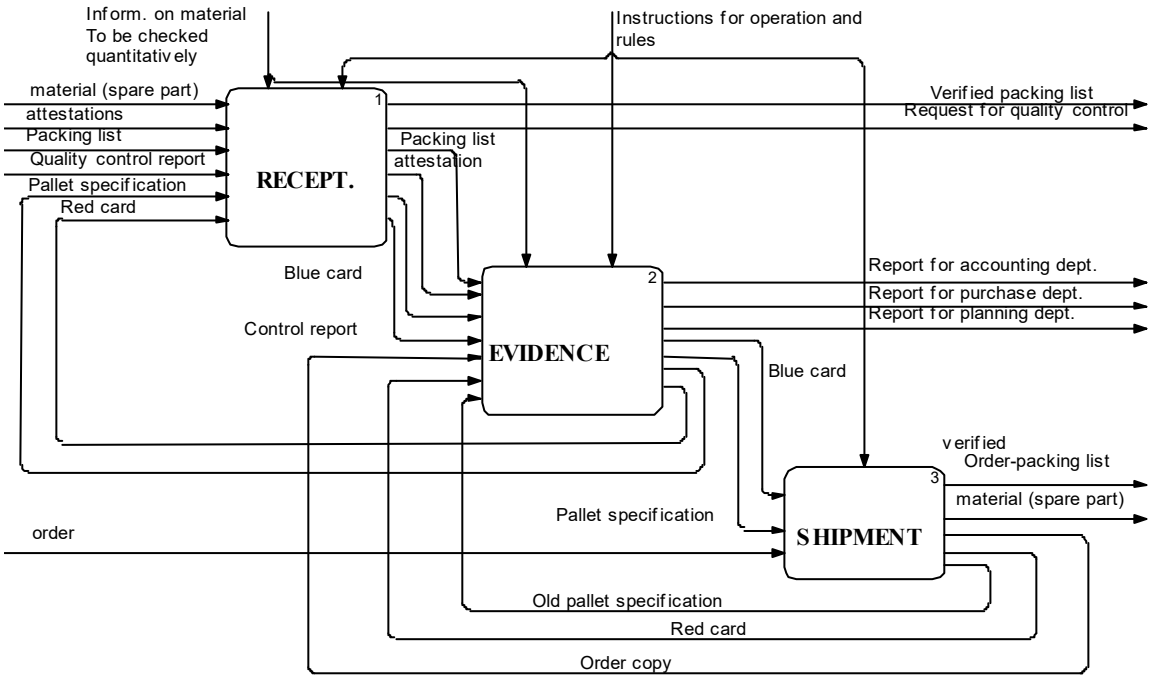


Fig. 4. Spare parts warehouse diagram

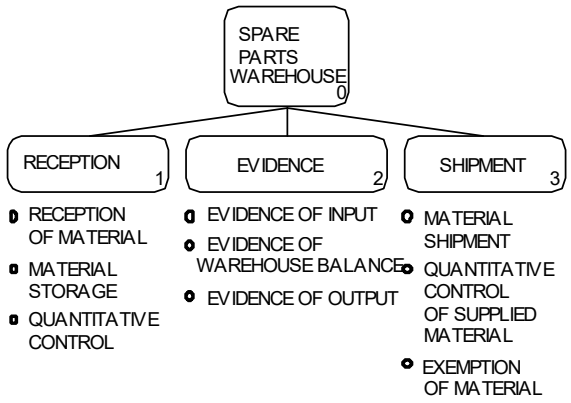


Fig. 5. Decomposition diagram of a spare parts warehouse

References

Pozhidaeva, V. 2004. *A Method for Evaluation of the Quality of Operation of Mining Machines Based on Results from Technical Diagnostics*, Scientific-Expert Conference with International Participation HIPNEF-2004, Mechanical Engineering Faculty University of Nis, Vrnjacka Banja, Serbia and Montenegro, 593-598.

Pozhidaeva, V. 2003. *Analysis of the Applicability of Vibration Methods for Control of Mine Mechanization*, 3rd International Conference Research and Development in Mechanical Industry-RaDMI 2003, H.Novi, Serbia and Montenegro, 1910-1914.

Živoslav, A. 2001. *Tehnologija odrzavanja tehnickih sistema, Sartid*, Smederevo

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 39-41

Идеен проект на лабораторен стенд за изпитване на леки рудничнии локомотиви

Живко Илиев, Евгени Костадинов, Георги Вътев

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

РЕЗЮМЕ. Разработката представлява идеен проект на лабораторен стенд за изпитване на работните параметри на леки руднични локомотиви със служебна маса до 5 t. Лабораторният стенд позволява да се снемат електромеханичните и тягови характеристики, както и да се откриват повреди и неизправности в системата на задвижване и тяговите двигатели. Конструкцията на стенда дава възможност същият да се използва не само за учебно-изследователски цели, но и за следремонтна диагностика на леки руднични локомотиви.

CONCEPT DESIGN FOR A LABORATORY STAND FOR TESTING OF MINE LOCOMOTIVES

ABSTRACT. The project represents a preliminary design a laboratory stand for testing technical parameters of drive system and finding out faults in light mine locomotives with official mass up to five tones. The laboratory stand allows to register the electro-mechanical and traction characteristics as well as to defect damages in the control system and traction motors. The stand construction can be used either for scientific research or for post repair diagnostic of light mine locomotives.

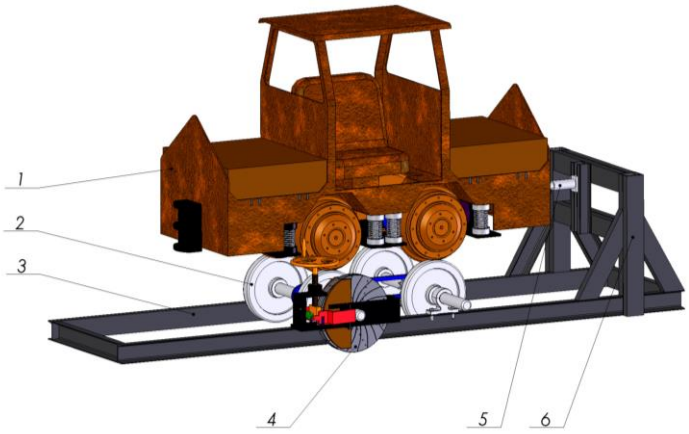
След извършване на ремонтни работи по възстановяване на тяговите електродвигатели и ходовата част на рудничните локомотиви е необходимо да се направи изпитване на машините. То се състои в проверка на електромеханичните характеристики V = f(Ia) и Fт = f(Ia), където: V – скорост на локомотива, m/s; Ia – ток, протичащ през котвената намотка на електродвигателя, A; Fт – теглителна сила, N. При дизелово задвижване се снема характеристиката Fт = f(V). Необходимите операции за тестване на локомотива биват пускане, спиране и реверсиране на тяговите електродвигатели. Измерваните величини за различните режими на работа са: въртящ момент, ток и напрежение на двигателите, работна температура, честота на въртене на ходовите колела и теглителна сила. Получените данни се сравняват с номиналните параметри, при което се дава оценка за качеството на извършеният ремонт. За да бъдат те меродавни, по време на изследването трябва да се изпълнят следните изисквания: колинеарност на измерваната теглителна сила с евентуалната посока на движение и максимално доближаване на контактните условия между ходовите колооси на локомотива и работните повърхнини на стенда с действителните при движение върху релсов път.

В настоящата работа е представен идеен проект на лабораторен стенд за изпитване на работните параметри и откриване на неизправности в системата на задвижване на леки руднични локомотиви със служебна маса до 5 t.

Конструкцията има възможност за реализиране на различно междуосово разстояние, което позволява точно позициониране на локомотивните и стендовите валове в една вертикална равнина.

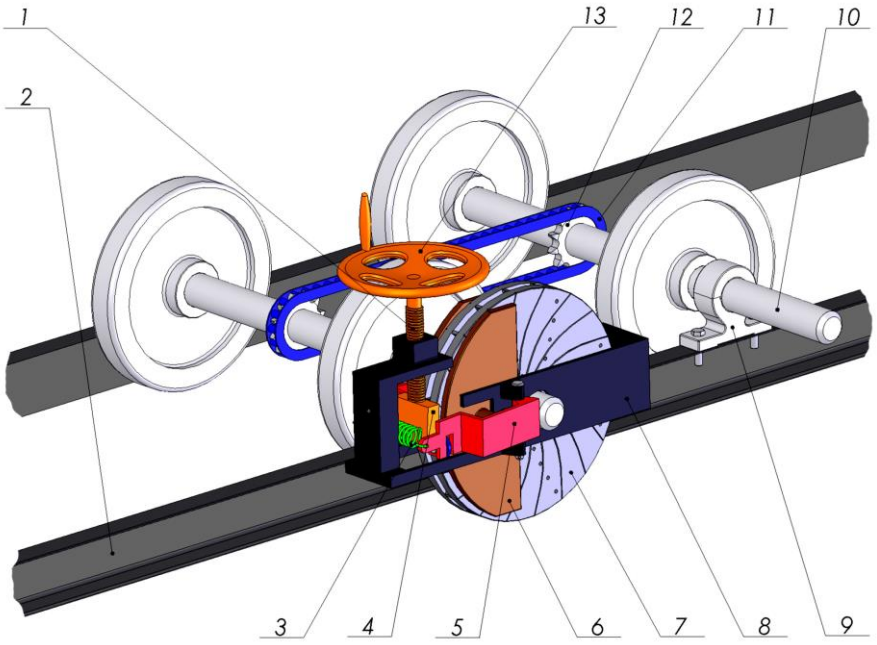
Основните параметри и габаритни размери на стенда са следните: междуосово разстояние на стендовите колооси - 750 mm (с възможност за промяна); широчина на релсовия път – 600 mm; създаван съпротивителен момент – 0÷600 Nm, максимален измерван ток – до 200 A, максимално работно напрежение – до 250 V.

Основните елементи от конструкцията са показани на Фиг. 1. Стендът е съставен от колооси /2/, свързани посредством верижна предавка, основна рама /3/, механична дискова спирачка /4/, буфер с тензометричен датчик /5/ и опора /6/. С /1/ е означен изследваният локомотив.



Фиг. 1. Общ вид

На Фиг. 2 е показано устройството на механичната дискова спирачка. Тя се състои от: регулиращ винт /1/, пружина /3/, подвижен конус /4/, притискащи челюсти /5/, фрикционни тела /6/, спирачен диск /7/, корпус /8/ и ръкохватка /13/. Лагеруването на стендовите колооси /10/ се осъществява чрез лагерни букси /9/, захванати за основната рама /2/. Връзката между предната и задната колоос става чрез верига /11/ и верижни зъбни колела /12/.



Фиг. 2. Механична дискова спирачка и стендови колооси

Електрическата схема (Фиг. 3), указваща начина на свързване на основните измерителни апарати и устройства е разделена условно на три блока – блок I, генериращ измерваните сигнали; блок за управление II и измерителен блок III. Тя е съобразена с принципа на управление на рудничния локомотив “3300-2А”, който се намира в лабораторията по “Руднична локомотивна тяга” на катедра “Механизация на мините”. Отличителна особеност на неговата система за управление е импулсното регулиране на тока и напрежението на тяговите електродвигатели.

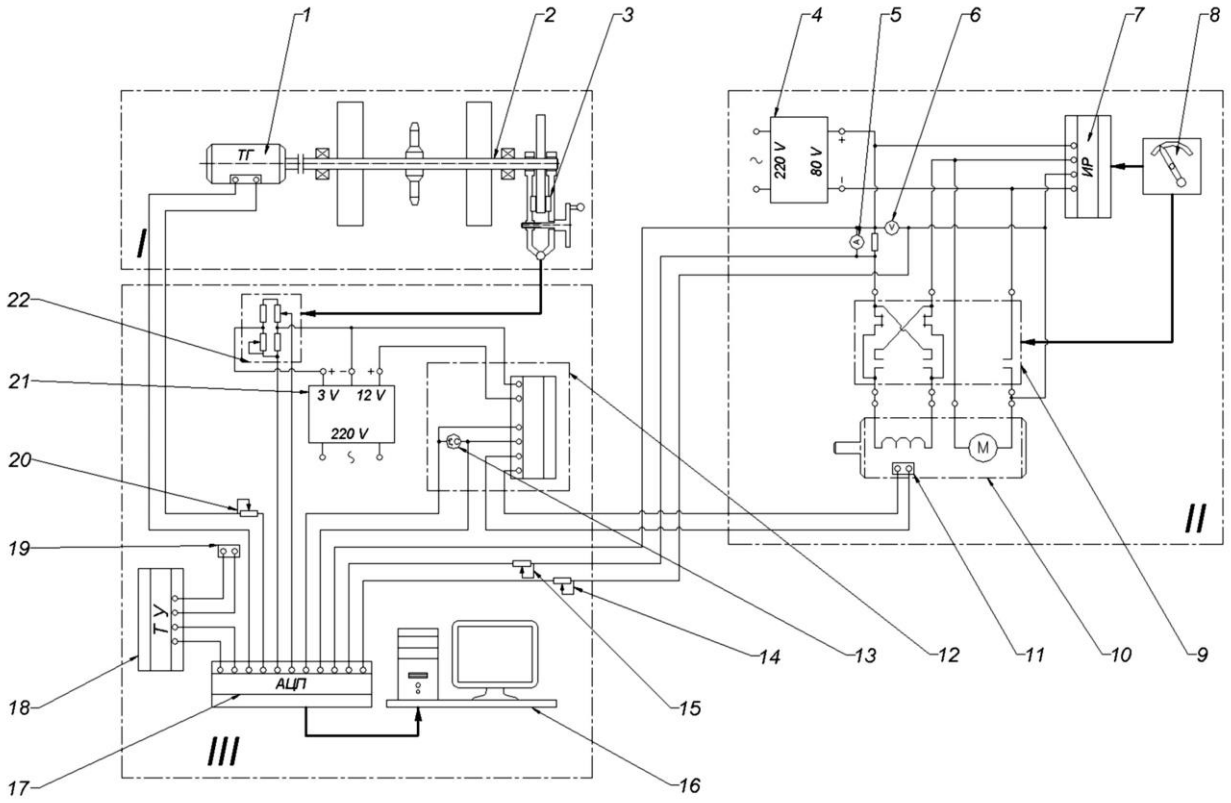
Елементите в схемата са следните: тахогенератор /1/, стендова колоос /2/, механична дискова спирачка /3/, захранващ блок /4/, контролен амперметър /5/, контролен волтметър /6/, импулсен регулатор /7/, команден орган /8/, контакторен блок /9/, тягов електродвигател /10/, температурен датчик /11/, цифров термометър /12/ с LCD дисплей /13/, потенциометри /14/, /15/ и /20/, персонален компютър /16/, аналогово-цифров преобразувател /17/, тензометричен усилвател /18/, тензометричен датчик /19/, захранващ блок /21/ и реостатен датчик /22/.

Особеността на дисковата механична спирачка се обуславя от това, че силата на притискане на фрикционните тела зависи от коравината на използваните пружини. С регулиращият винт се променя тяхната работна дължина, респективно пружинната константа. Така натоварването може да се регулира според развиваното спирачно усилие. Съпротивителният момент, генериран от спирачката е обратен по посока на момента, развиван от тяговите електродвигатели. Той се преобразува в пропорционално линейно преместване, което се регистрира от монтирания реостатен датчик.. При нужда от промяна на режима на работа се прилага и добавяне на допълнителни тежести за увеличаване на сцепното тегло. Стендовите колооси са с профила на релсовият път, което е условие за автентичността на работните условия, имитирани при лабораторните изпитвания. Честотата им на въртене се измерва чрез тахогенератор, куплиран към една от тях. С подходяща тарировка, вземаща предвид предавателното отношение на редукторите, се определя честотата на въртене и на тяговите двигатели.

Теглителната сила на локомотива създава еластични деформации в тялото на специално конструиран буфер, който представлява кинематична връзка между опората на стенда и прикачното устройство. Тези деформации се отчитат от тензометричен датчик, захранван със стабилизирано напрежение от тензометричен усилвател. В него получените данни се усилват и преобразуват във вид на пропорционални електрически сигнали, които дават представа за тяговите възможности на локомотива.

Измерването на температурата на намотките от двигателите се осъществява посредством датчик, изграден от термочувствителен полупроводников елемент с обхват до 150^0 С. Неговите сигнали се усилват и преобразуват от електронен термометър. Следят се също така напрежението и тока от силовите вериги на тяговите електродвигатели.

Получените данни от всички регистриращи прибори постъпват в многоканална измерителна система, изградена от аналогово – цифров преобразувател и персонален компютър, снабден с необходимия софтуер. Това дава възможност за цифров запис в реално време на стойностите на всички измервани величини, което на практика елиминира вероятността от технически грешки и объркване на данните.



Фиг. 3. Схема на свързване на измерителната апаратура

Описаният лабораторен стенд предоставя възможности за пълно и подробно определяне на състоянието на даден рудничен локомотив, както и за качеството на извършените ремонтни работи по отстраняване на повреди и неизправности в системата на задвижване. Основните предимства на стенда са: точно симулиране на условията на работа; поддържане на постоянен зададен режим на натоварване на машината, което е от голямо значение за достоверността на извършваните изследвания; съвременните методи за обработка на получените резултати. За увеличаване на възможностите му е предвиден буфер с променлива дължина и позициониране във вертикално направление в зависимост от височината на прикачното устройство.

Конструкцията на стенда позволява същият да се използва не само за учебно-изследователски цели, но и за следремонтна диагностика на леки руднични локомотиви.

Провеждането на лабораторното изпитване на рудничния локомотив само по себе си е труден процес. Това се обуславя от редица фактори като тегло на машината, наличието на вибрации, както и динамични натоварвания, поставящи пред апаратурата и самият стенд допълнителни изисквания. Такова изискване е поемането на удари, получени при пускане и спиране на двигателите от буфера с монтираният тензометричен датчик, който същевременно поддържа локомотива в оптимално положение върху стендовите колооси. Допълнително усложнение представлява и охлаждането на конструкцията на спирачното устройство. Въпреки това посочените трудности са преодолими и биха получили подходящи решения.

Авторският колектив се надява, че идейният проект в бъдеще ще се развие в действащ стенд, който да намери своето място в лабораторията по “Руднична локомотивна тяга” на катедра “Механизация на мините”.

Литература

Матеев, М., *Руднична локомотивна тяга*. С., Техника, 1971.

Решетов, Д., *Детайли Машин*. М., Машиностроение, 1989.

Тасев, В., *Лабораторна дискова спирачка. Год. МГУ*, 46, св. III – Механиз., електр. и автом., 31-34.1994.

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 43-46

Симптоми за вибродиагностика на зъбни предавки от задвижванията на минната механизация

Вяра Пожидаева

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

РЕЗЮМЕ. Въз основа на теоретични постановки и експериментални измервания на вибрации и обработка на данните с програмен продукт Condmaster Pro, са определени симптоми и параметри в честотните спектри за разпознаването на различни по характер повреди в зъбните предавки от задвижванто на минната мханизация

SYMPTOM PARAMETERS TO VIBRODIAGNOSTICS TO GEAR MESH OF MINING MECHANIZATION RUNNING
ABSTRACT. In the base of theoretical treatment and testing vibrations measurements and training to the data with Condmaster Pro programme, are determined the symptom parameters from the frequency specters to identify the difference damages of gear mesh of mining mechanization running.

Въведение

Разнообразието на дефектите в зъбните колела и разнообразието с което те се проявяват във вибрационния сигнал, поражда разнообразие и на методите за диагностициране. Всеки метод се стреми да формира инвариантен диагностичен признак. Все пак, всички методи трябва да бъдат разделени на две групи: методи за диагностициране на дефекти от изработване и монтаж на зъбните предавки и методи за диагностициране на експлоатационни дефекти. Основното различие между тези две групи методи се изразява в честотната сфера на проявление. Докато дефектите от изготвянето и монтажа се диагностицират по изменението на спектрите на принудените трептения в ниско и средночестотен диапазон, то дефектите от експлоатацията се диагностират по изменението на модулационните характеристики на принудените и собствени честоти в значително по-високочестотните зони. Тази особеност предоставя възможност да се определят и конкретизират симптоми в честотния спектър (хармоник или група хармоници със съответна честота и амплитуда), за изява на различни дефекти и технически неизправности в зъбните двойки. Обект на изследване в настоящата работа са зъбните предавки от задвижването на ГТЛ 2250 (фиг.1), от минната механизация на "Мини Марица-Изток" ЕАД. Експериментите са реализирани с наличната в "Мини Марица-Изток" ЕАД апаратура Т30 и програма Condmaster PRO v.1.11, с цел внедряването ѝ в експлоатационни условия.

По своята същност апарат Т30 на фирма SPM-Instrument, представлява честотен анализатор в реално време с функции "колектор на данни", в който предварително се програмират чрез управляващата програма Condmaster PRO, обема на измерванията и маршрута на обхождане на измервателните точки. Честотният диапазон на Т30 е до 1000 Hz, а разделителната му способнос е 400 линии на спектър. Измерванията се реализират ръчно, след което съхранената в паметта на апарата информация се трансферира в компютърната база данни на Condmaster PRO за обработка и определяне на техническия ресурс и евентуалните повреди в елементите от диагностирания обект.

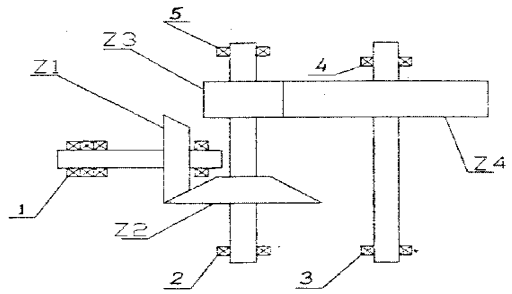
Управляващата програма Condmaster PRO е структуирана за поелементна диагностика на обектите, като за тази цел е необходимо да се определят предварително следните характеристики за тях:

1. Повреди в елементите на обекта, които подлежат на диагностициране чрез контрол на вибрациите;
2. Маршрут на измервателните точки за позиционирането на датчиците с указване на обема и вида на измерванията;
3. Симптоми, които отразяват повредите в елементите – групи от хармоници в честотния спектър и/или съответни илюстративни статистически вибропоказатели;
4. Прагови стойности, предупредителни и алармени за съответните симптоми.

Последните две задачи от тази поредица могат да бъдат реализирани само чрез множество експериментални измервания и натрупване на голям информационен масив от данни.

Симптоми в честотния спектър и диагностични показатели за откриване на повреди в зъбните предавки.

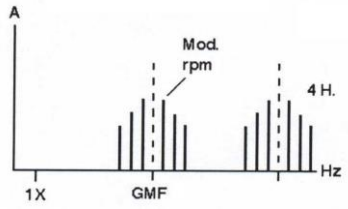
За всеки елемент от приложената кинематична схема (фиг.1), трябва да се зададат съответни измервания в подходяща последователност, които да обезпечат необходимата информация за разпознаването на повредата. Последното се извършва на базата на предварително конфигурирани в програмата симптоми, по които след визуализация на спектъра могат да се определят наличните повреди както и тяхната степен.



Фиг. 1. Кинематична схема с оказани измервателни точки

1. Симптом за повреди на зъбното колело

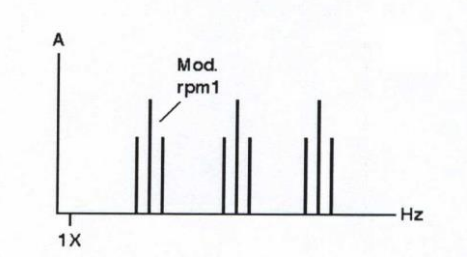
Чрез него се диагностират дефекти в зъбното колело, като нараняване, пукнатини, питинг, счупен или спукан зъб, хлабини и износване, изронване, задиране и др. Проявява се в спектъра като странични ленти на честотата на зъбното зацепване (Gear mesh frequency GMF), при честотната модулация на роторната честота на съответния вал. При наличието на дефект в спектъра ще присъстват 4 групи хармоници всяка с по 6 странични ленти (фиг. 2), чиято амплитудна стойност ще оказва големината на повредата. Измерва се вибрационната скорост във радиална посока, като предварително зададеният честотен диапазон трябва да превишава честотата на четвъртия хармоник от зъбното зацепване.



Фиг. 2. Симптом за повреди на зъбно колело

2. Симптом за наличие на несъосност в редуктора

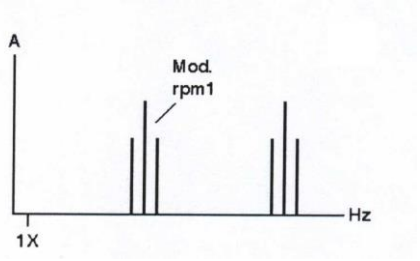
Технологична несносност между валовете, като отклонение от успоредност или от перпендикулярност, както и неправилно набито на вал зъбно колело се проявяват в честотния спектър с три групи хармоници на честотата на зацепването на първата зъбна двойка и по две странични ленти модулирани на честотата на въртене на първи вал (фиг. 3). Измерва се вибрационната скорост във радиална посока, като предварително зададеният честотен диапазон трябва да превишава честотата на третия хармоник от зъбното зацепване.



Фиг. 3. Симптом за наличие на несъосност в редуктора

3. Симптом при наличие на проблем в сглобките между зъбните колела и валовете

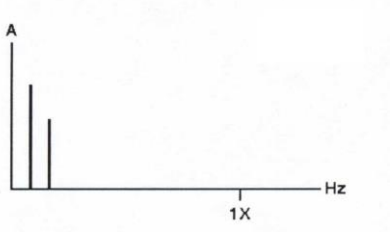
Наличието на тази неизправност се установяват чрез определянето на т.н. фазов фактор на сдружаване Na (gear assembly phase factor GAPF), който представлява дробна част от честотата на зъбното зацепване (GMF), когато Na > 1. Когато Na = 1,GAPH=GMF. Повреда от този тип ще се илюстрира в спектър чрез пет хармонични групи на честота GAPF и по една странична лента модулирана на роторната честота на първи вал (фиг. 4).



Фиг. 4.Симптом при наличие на проблем в сглобките между зъбните колела и валовете

4. Симптом за фабрично лошо обработен зъб.

Проявява се в честотния спектър чрез два субхармоника с честота 1X*Na/Z и 2X*Na/Z, където Z е брой зъби на водимото зъбно колело от сеответната зъбна двойка (фиг. 5).



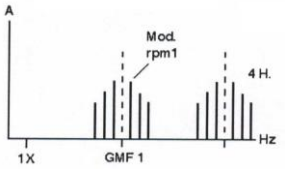
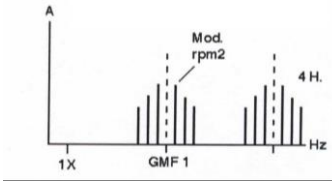
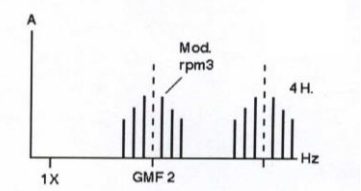
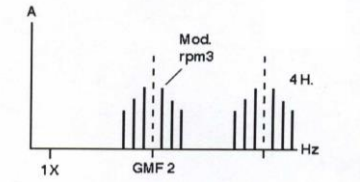
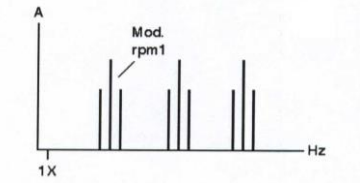
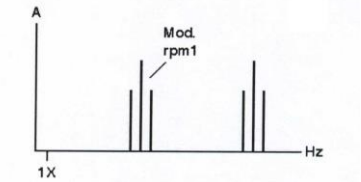
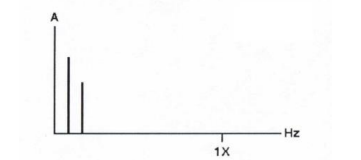
Фиг. 5. Симптом за фабрично лошо обработен зъб

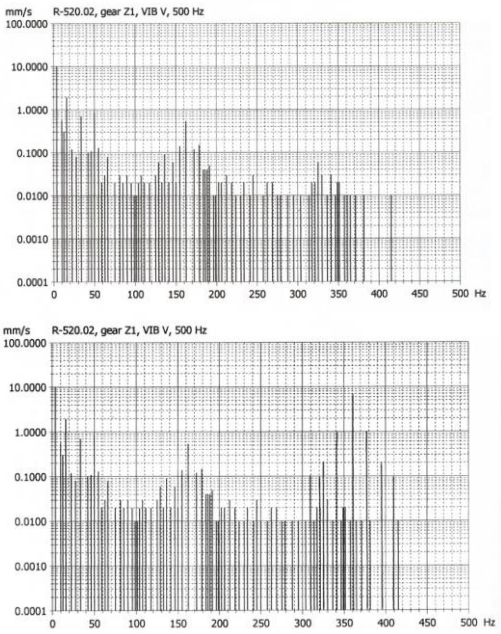
Експериментални резултати

На базата на проведените многобройни експерименти за зъбните предавки от задвижването на ГТЛ 2250 бяха конкретизирани следните гранични стойности на амплитудите от отделните симптоми (Таблица 1).

От приложената таблица 1 се вижда, че не малък брой от присъстващите честоти се намират в област надвишаваща честотния обхват на апаратурата (фиг. 6). Граничните стойности на амплитудите на виброскоростта са получени само на базата на присъствуващите групи хармоници в диапазона до 1000 Hz.

Таблица 1

Механична неизправност	**Честота Hz**	**Прагови нива за настройка RMS [mm/s]**	**Симптоми във вибрационния спектър**
1. Повреди в зъбни колела			
Повреда в зъбно колело Z1, входящ вал (точка 1). GMF1=Rpm1*Z1, Z1 = брой зъби на задвижващото зъбно колело от 1 –ви вал.	361,02 722,04 1083,06 1444,10	Различни по големина амплитуди, достигащи Max. 4,0	 4 групи по 6 линии на 1X*Z – 4X*Z
Повреда в зъбно колело Z2 от 2-ри вал, (точка 2). GMF1=Rpm2*Z2, Z2=брой на зъбите на задвижваното зъбно колело от 2-ри вал.	361,02 722,04 1083,06 1444,10	Различни по големина амплитуди, достигащи Max. 4,0	 4 групи по 6 линии на 1X*Z – 4X*Z
Повреда в зъбно колело Z3 от 2-ри вал. (точка 5) GMF2 = Rpm2*Z3 Z3 = брой зъби на задвижващо зъбно колело от 2-ри вал.	160,45 320,90 481,35 641,80	Различни по големина амплитуди, достигащи Max. 3,5	 4 групи по 6 линии на 1X*Z – 4X*Z
Повреда в зъбно колело Z4 от 3-ти вал, (точка 4). GMF2=Rpm3*Z4 Z4 = брой зъби на задвижваното зъбно колело от 3-ти вал.	160,45 320,90 481,35 641,80	Различни по големина амплитуди, достигащи Max. 3,0	 4 групи по 6 линии на 1X*Z – 4X*Z
2. Несъосност в редуктора.			
Контролира се само в точка 1 от 1-ви вал на честота GMF1	361,02 722,04 1083,06	Различни по големина амплитуди, достигащи Max. 4,0	 3 групи по 3 линии на 1X*Z1 – 3X*Z1
3. Симптом при наличие на проблем в сглобките между зъбните колела и валовете.			
Контролира се в точки 1 и 5.	361,02 722,04 1083,06 1444,10 1805,12 и 160,45 320,90 481,35 641,80 802,25	Различни по големина амплитуди, достигащи Max. 3,0	 5 групи по 3 линии на 1X*Z/Na – 5X*Z/Na
4. Симптом за фабрично лошо обработен зъб.			
Контролира се в точки 2 и 4.	3,64 7,29 и 1,03 2,07	Различни по големина амплитуди, достигащи Max. 3,0	 2 линии на 1X*Na/Z , 2X*Na/Z



Фиг. 6. Спектър на вибрациите на зъбно колело без и със дефекти

Изводи

Реализираните експерименти доказват, че наличната в "Мини Марица-Изток" ЕАД апаратура за вибрационен контрол на минната механизация, не може да осигури коректна диагностика на всички зъбни предавки. Симптомите за техническа неизправност при високоскоростните зъбни двойки не могат да се илюстрират в спектъра не само поради ниския честотен обхват на апаратурата, но и поради недостатъчната й разделителна способност. Въпреки споменатите недостатъци обаче, натрупаната база данни е достатъчна за един начален етап на работа с апаратурата.

В заключение може да се каже, че след коректното определяне на всички симптоми за диагностика и техните гранични нива, на практика ще бъде осигурена необходимата информация за преминаване към система за автоматичен контрол на редукторите от минната механизация.

Литература

SPM Academy, 2001. Evaluated Vibration Analysis Method, Copyright 1998 by SPM Instrument AB, 71537.B, 41 p.

SPM Academy, 2000. Vibration Analysis , Copyright 2000 by SPM Instrument AB, 71535.B, 76 p.

SPM Instrument AB, Technical data, 1999. Working with Condmaster PRO and Data Loggers A30/T30, Copyright 1999 by SPM Instrument AB , 71545.B, 150 p.

SPM Instrument AB, Technical data, 1998. Instruction Manual Analyzer A30 Tester T39, Copyright 1998 by SPM Instrument AB, 71532.B, 50 p.

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 47-50

Симптоми за вибродиагностика на елктродвигателите от задвижванията на минната механизация

Вяра Пожидаева

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

РЕЗЮМЕ. Въз основа на теоретични постановки и експериментални измервания на вибрации и обработка на данните с програмен продукт Condmaster Pro, са определени симптоми и параметри в честотните спектри за разпознаването на различни по характер повреди в електродвигателите от задвижванто на минната мханизация.

SYMPTOM PARAMETERS TO VIBRODIAGNOSTICS TO MOTORS OF MINING MECHANIZATION RUNNING
ABSTRACT. In the base of theoretical treatment and testing vibrations measurements and training to the data with Condmaster PRO programme, are determined the symptom parameters from the frequency specters to identify the difference damages of motors of mining mechanization running.

Въведение

Ефективността на минното производство е пряко свързана с надеждната експлоатация на минната механизация. Във връзка с това през последните години нарастна актуалността и интересът към техническата диагностика и безразрушителния контрол. Фирмите производителки на диагностична апаратура се стараят да предлагат разнообразни по вид и възможности апарати и програмни продукти. Обща тенденция е апаратурата да предоставя възможност за контрол на голям брой параметри, както и програма за тяхната последваща математическа обработка с диагностична цел. Типичен пример в това отношение е апарат Т30 и програмен продукт Condmaster PRO производство на фирмата SPM-Instrument, които се използуват в "Мини Марица-Изток" ЕАД за диагностика на минната механизация. По своята същност апарат Т30 представлява честотен анализатор в реално време от тип "събирач на данни", в който предварително се програмират чрез управляващата програма Condmaster PRO, обема и вида на измерванията, праговите стойности на предупредителните и алармени нива на показателите за диагностика на техническото състояние. За получаването на коректни резултати и достоверна диагностична информация е необходимо предварително да се реализират експериментални измервания за определянето на характерни симптоми на конкретните технически неизправности. В настоящата публикация се коментират резултатите от проведените експерименти за безразрушителен контрол и диагностика на електродвигателите от задвижваният на минната механизация в "Мини Марица-Изток" ЕАД.

Теоретична обосновка

Вибрациите на електрическите машини по своя произход са два основни класа – електромагнитни вибрации и механични вибрации (Деро, 1976; Божилов, 1992). Информационните параметри с които те се идентифицират са абсолютните и относителните стойности на вибропоказателите, а основен аналитичен метод за тяхното изследване е спектралния анализ на съответните функционални зависимости.

Електромагнитните вибрациите са свързани с възникването на едностранни сили на магнитно привличане, като следствие на нарушена магнитна или електрическа симетрия на статора или ротора, с което се променя характера на полето във въздушната междина. За различните асинхронни машини характерът на полето във въздушната междина е различен, но във всички случаи, за основен негов параметър се счита магнитната индукция, която има несинусоидална форма. За удобство тя се разлага в хармоничен ред:

$$B(\alpha) = B_1(\alpha) + B_2(\alpha) = \sum_{\nu=0}^{\infty} B_\nu \sin(\omega_\nu t - \nu\alpha - \varphi_\nu) + \sum_{\mu=0}^{\infty} B_\mu \sin(\omega_\mu t - \mu\alpha - \varphi_\mu) \quad (1)$$

където: α е текуща ъглова координата;

ν е номер на хармоник на статорното магнитно поле;

μ е номер на хармоник на роторното магнитно поле.

След като се замести хармоничния ред на магнитната индукция в израза за магнитната енергия, се получава общия вид на Фуриеровия спектър за електромагнитните сили

$$F(\omega_{n.\alpha}) = F_n \cos(\omega_n t - n.\alpha - \varphi_n) \quad (2)$$

където: n е номерът на хармоника на силата,

F_n - нейната амплитуда ,

ω_n – честотата,

φ_n - фазата й.

Тъй като съгласно принципа на суперпозицията даден хармоник на силата възбужда линейни хармонични треп-

тения със същия порядък на собствената форма, какъвто е номерът му, то спектърът на вибрациите има същия вид като тези на силите.

$$S(\omega_{n.\alpha}) = \sum_{n=0}^{\infty} Q_n \cos(\omega_n t - n.\alpha - \varphi_n - \tau_n) \qquad (3)$$

където с Q_n е означен обобщен вибрационен параметър (преместване, скорост или ускорение).

Порядъкът на колебанията получени при интерференцията на собствените хармоници е:

$$n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \ldots\ldots \qquad (4)$$

На базата на горните уравнения, описани в труда на Божилов (1992), могат да бъдат получени съотношения за честотите и фазите на хармоничните трептения и да бъдат формирани амплитудно-честотния и фазово-честотния спектри на вибрациите от електромагнитен произход на конкретен тип асинхронен електродвигател.

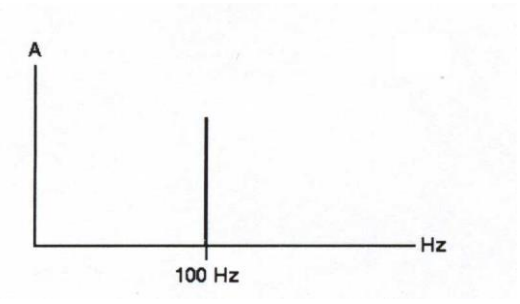
Вибрациите от механичен произход са следствие основно на некачествено производство, некачествен монтаж и експлоатационни повреди в електродвигателя. Идентифицирането им в честотния спектър се осъществява на базата на силите от механично взаимодействие, които се характеризират по честота и амплитуда.

Неизправности и симптоматика

Симптоми за идентификация на вибрации от електромагнитен произход

С помощта на програмния продукт Condmaster Pro в честотния спектър могат да бъдат разпознати следните видове вибрации от електроматнитен произход, като следствие на настъпили неизправности.

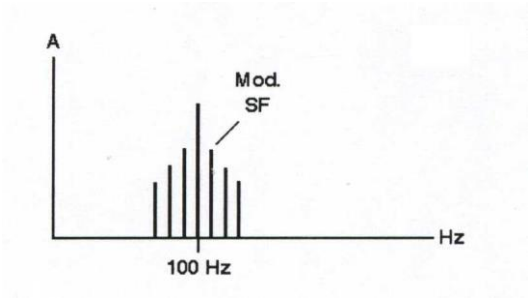
1. Ексцентрицитет на статора – проявява се в честотния спектър с увеличаване на амплитудата на хармоника на удвоената мрежова честота 100 Hz (фиг. 1).



Фиг. 1. Симптом за диагностика на ексцентрицитет на статора

Честотата на вибрациите в този случай не зависи от роторната честота, респективно от натоварването на двигателя. По принцип статорната несиметрия не внася нови хармоници, нито по номер, нито по честота. Изменят се само амплитудите и фазите на вече съществуващи в хармоничен режим хармоници.

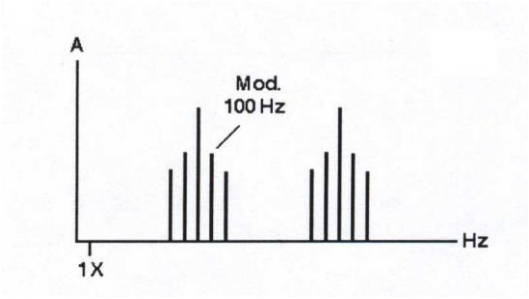
2. Ексцентрицитет на ротора - проявява се в честотния спектър с увеличаване на амплитудата на хармоника на удвоената мрежова честота 100 Hz и по три странични ленти модулирани с честотата на хлъзгането (SF-slip frequency), която е разликата между синхронната скорост и скоростта на ротора. (фиг. 2).



Фиг. 2. Симптом за диагностика на ексцентрицитет на ротора

Страничните ленти могат да се дължат също и на неравномерна въздушна междина между ротора и статора, мека пета или деформирана основа на двигателя или несъосност.

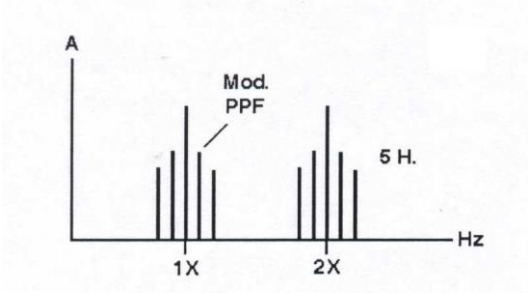
3. Несиметрия в статорната намотка (прекъсване, късо или корпусно съединение, нееднаквост на фазните съпротивления) (фиг. 3).



Фиг. 3. Симптом за диагностика на несиметрия в статорната намотка

В случая повредата се идентифицира чрез две групи от по пет линии на честота 100 Hz и 200 Hz, с модулация на удвоената мрежова честота.

4. Несиметрия в роторната намотка (прекъсване или нееднаквост на съпротивленията) (фиг. 4).

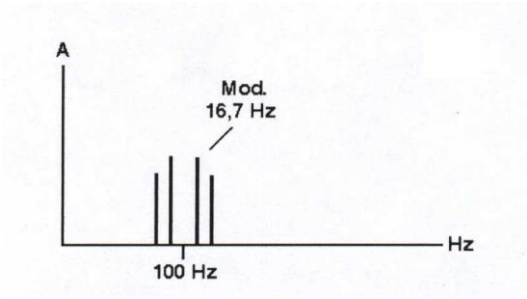


Фиг. 4. Симптом за диагностика на несиметрия в роторната намотка

В този случай, в спектъра присъстват 5 групи по пет линии от първи до пети хармоник на роторната честота. Модулацията на страничните ленти е с честотата на полярния преход или скоростта на превключване на полюсите (PPF-pole pass frequency), определена като произведение от честотата на хлъзгане и броя на полюсите. Страничните ленти в спектъра могат да се дължат също и на неравно-

мерна въртяща се въздушна междина между ротора и статора.

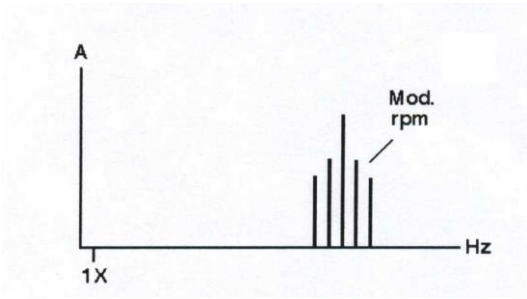
5. Индикация за лош контакт на контактните пръстени на двигателя в т.ч. счупен контактен пръстен (фиг. 5).



Фиг. 5. Симптом за диагностика на лош контакт на контактните пръстени на двигателя

Индикацията за липса на контакт или прекъсвания в контакта, типична за асинхронни двигатели с навит ротор, се илюстрира в спектъра с група от четири линии около хармоника на удвоената мрежова честота. Модулацията на страничните ленти е с 1/3 от мрежовата честота 50 Hz.

6. Хлабини в статорната намотка (фиг. 6).



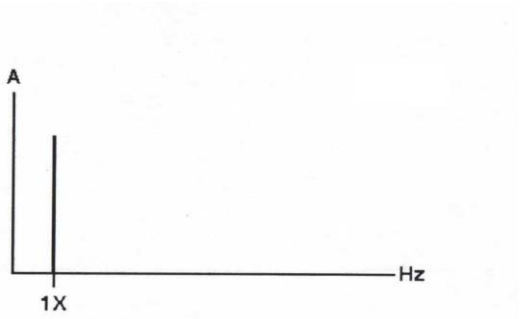
Фиг. 6. Симптом за диагностика на хлабини в статорната намотка

Проявява се с група от 5 хармоника на честотата на превключване на статорната намотка (CPF-coil pass frequency), с две странични ленти модулирани на роторната честота.

Симптоми за идентификация на вибрации от механичен произход

Вибрациите от механичен произход са свързани основно с конструктивни недостатъци, повреди и дефекти от лош монтаж. Основните недостатъци предизвикващи вибрации в електродвигателя са недопустима неуравновесеност на ротора, допусната при производството му или в резултат на деформация на вала или отслабване на сглобките на въртящите се части. Освен това вибрации могат да бъдат предизвикани от повреди в лагерите, овалност на шийката на вала, увеличаване на радиалните хлабини или ниска температура на маслото. Причини за вибрациите, свързани с лош монтаж и куплиране с друга машина са колебанията на фундамента или металната конструкция на която е монтиран електродвигателя, предаването на вибрации от съседната машина като дефекти в зъбните предавки на редуктора, дефекти в съединителя, нарушена центровка на полусъединителя с вала, неправилен монтаж или износване в палците на съединителя, както и несъосност. Симптомите за разпознаването на тези неизправности в честотния спектър са следните:

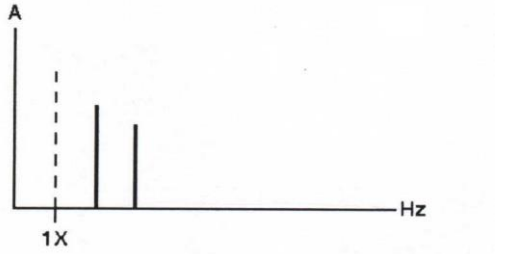
1. Статичен или динамичен дебаланс, динамичен ексцентрицитет на ротора, деформация на вала (фиг. 7).



Фиг. 7. Симптом за диагностика на статичен или динамичен дебаланс, динамичен ексцентрицитет на ротора, деформация на вала

Проявява се с увеличаване на амплитудата на присъстващия в спектъра основен хармоник на роторната честота. Вибрациите са предимно радиални.

2. Несъосност, биене, неправилен монтаж, хлабина, претоварване, овалност, деформация на вал или лагерните тела, деформации в опорите, тялото или фундамента (фиг. 8).



Фиг. 8. Симптом за диагностика на дефекти от несъосност

Проявява се с увеличаване на амплитудата на втори и трети хармоник на роторната честота.

Предаването на вибрации от съседни елементи, като дефекти в зъбните предавки на редуктора, дефекти в съединителя и др. се изявяват също в честотния спектър със своите типични симптоми и се диагностират чрез измервания върху измервателни точки, разположени в близост до тях в съответни честотни диапазони. Те са предмет на контрол и диагностика на съответната машина. По отношение на диагностиката на търкалящите лагери, по-ефективни са резонансните методи за контрол и следва те да бъдат прилагани за лагерните вграждания в минната механизация.

Изводи

Установяването на коректна симптоматика на повредите в електродвигателите от задвижванията на минната механизация, позволява те да бъдат включени като обект за диагностика в една обща система за вибрационен безразрушителен контрол, функционираща в експлоатационни условия. Освен това се предоставя възможност на персонала

по техническа поддръжка да оцени качеството на проведения ремонт на електродвигателите преди тяхното монтиране на работното им място, а също така и да се прецизира качеството на техния монтаж.

Литература

Божилов, Г. Й. 1992. *Разработка и анализ на методи за техническа диагностика на електрически машини.* Автореферат на дисертация за получаване на научната степен "доктор на техническите науки"., С., Печатна база на ТУ, 64 с.

Деро, А. Р. 1976. *Неполадки в работе асинхронного двигателя*. Л., Энергия, 94 с.

Soldat, D., D. Živković , D. Malic , 2002. Maintenance and Usage of Information Technology in Agriculture Plant Industry, *Proceedings 2nd International Conference Research and Development in Mechanical Industry, volume 2, RaDMI 2002*, 01-04 September, Vrnjacka Banja, Yugoslavia, 800-806.

Živković D., M. Veljić, 2003. EFFECTS OF IMPLEMENTING A INFORMATION SYSTEM IN MAINTENANCE OF MANUFACTURING EQUIPMENT AT A COMBINE FACTORY, *Proceedings 3rd International Conference Research and Development in Mechanical Industry, RaDMI 2003*, 19-23 September, Herceg Novi, Serbia and Montenegro, 922-926.

SPM Instrument AB, Technical data, 1999. Working with Condmaster PRO and Data Loggers A30/T30, Copyright 1999 by SPM Instrument AB , 71545.B, 150 p.

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 51-59

Възможности за компютърно изследване на динамичните процеси в истационарни режими на работа при релсово-колесните транспортни машини

Цветан Дамянов

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

РЕЗЮМЕ. Обект на изследване в работата е многомасова еласто-демпферирана система, каквато представлява математичният моделът на релсово-колесните влакове. Като инструмент за извършване на примерното симулационно изследване е използуван специализираният блоков симулатор ITI-Sim 2.2. Резултатите могат да бъдат използвани за решаване на правата и обратна задача при параметриране на пусковите и спирачни режими на рудничните и промишлени влакове.

OPPORTUNITIES FOR COMPUTER MODELING OF DYNAMIC PROCESSES IN ISTATIONARY MODE OF OPERATION FOR RAIL-TRACK MACHINES
ABSTRACT. The operation of multi-mass elastic-damper system, which in fact represents the mathematical model of rail-track trains, is a subject of the present study. A specialized block simulator ITI-Sim 2.2 is applied as an instrument for the simulation modeling. Results may be applied for solving the direct and inverse problem for the parameters of starting and stopping regimes of trains in mining and industry.

Въведение

Обект на изследване в работата е многомасова механична система, каквато представляват на практика релсово-колесните влакове. В минната практика се експлоатират много транспортни системи от този вид, както в подземните, така и в откритите минни предприятия. Тъй като допълнителното силово натоварване в преходните процеси при потегляне (ускоряване) и спиране на подвижния състав е съизмеримо със статичните товари, изучаването на тези процеси чрез използване на инженерни компютърни програми е много перспективно по следните причини:

- може да се ускори процесът на аналитично изследване и да се решават с числени методи сложни и многовариантни задачи;
- могат да се използват инженерни CAD програми за изометрично моделиране от високо ниво и интегрирани с тях други програми за статичен структурен анализ на базата на метода на крайните елементи. По този начин могат да се моделират и изследват симулационно модели на големи и сложни машини;
- чрез софтуерни продукти, базирани на блоковото моделно симулационно изследване, като Simulink от Matlab или много мощната, силно специализирана и с много богата библиотека от инженерни данни, каквато е програмата ITI – Sim 2.2, могат да се определят кинематичните и силови параметри в истационарни режими на много сложни машинни агрегати;

Тук ще бъдат илюстрирани възможностите на учебната версия на програмата ITI – Sim 2.2. с нейния базов модул и инструменталния блок "Механика" за изследване параметрите на динамичните процеси при пускане в движение на многомасова система, каквото представлява един примерен рудничен влаков състав при следните изходни данни:

- локомотив - 1бр., ЛКР 10 - $m_л$ = 10 т
- вагони - 2 бр., ВНР 2,8 - $m_{тв}$ = 4 т
- средна динамична сила -

$$F_{ДИН.СР.} = F_T^Л - W_{ВЛ}^c = 1000N$$

- коефициент на еластичност на буферите -

$$C_б = 1.10^5 N/m$$

- коефициент на демпфериране -

$$K_б = 1.10^5 N.s/m$$

При тези изходни данни ще бъде извършено примерно симулационно изследване на истационарен пусков режим на работа (потегляне) на тази тримасова механична система в среда на ITI – Sim според изложената по-долу последователност.

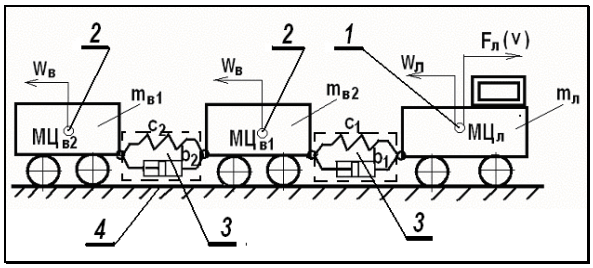
Особености на структурата и параметриране на системата

Структурно-функционалната схема на системата е показана на Фиг.1, а нейните елементи са означени както следва:

Като механична система това е отворена кинематична верига от дискретни маси 1 и 2, свързани с еластично-демпфериращи връзки - буферно-прикачните устройства - 3. Позиция 4 представя линеен участък от релсовия път.

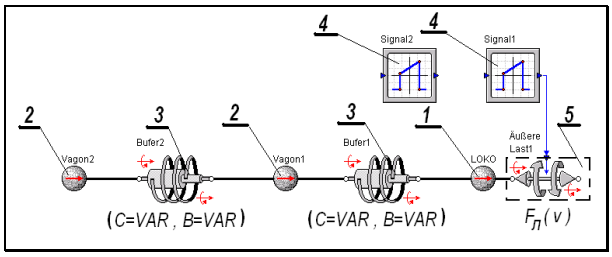
Силовото натоварване от статичните съпротивления при движение на вагоните $W_в$ и на локомотива $W_л$ е разпределено между отделните елементи (вагоните и локомотива) в техните масови центри МЦ, а движещата (теглителна) сила $F_л(v)$ се създава в случая само от локомотива.

При изследване на тежки промишлени влакови композиции съставени и от самоходни вагони, теглителната сила може да бъде разпределена и приложена и към дискретните маси на вагоните.



Фиг. 1.
1-локомотив, 2-вагони, 3- буферно прикачни устройства, 4- релсов път

На фиг. 2 е показана символно чрез инструментите на програмата ITI-Sim 2.2 структурата на системата както следва:



Фиг. 2.
1-блок–локомотив, 2-блок–вагони, 3-буферен блок, 4-сигнал–генераторни блокове, 4-блок–силово натоварване

Както се вижда от фиг. 2.1., симулационният модел на системата съдържа освен възлите, които представляват кинематичната верига (масови, еластични, демпфериращи и силови), допълнително и немеханично генерирани блокове, които са необходими за дефиниране на разнообразни задаващи функции на входящата величина, в случая – на теглителната сила.

Методика

Известно е от теорията за движение на влака, че оптимизирането на пусковия процес е от голямо значение за технико-експлоатационните параметри на транспортната машина (влак). Установено и доказано е също, че равноускорителния режим на потегляне е напълно задоволителен от гладна точка на токово и механично натоварване на системата на задвижване. Такъв пусков режим се постига теоретично чрез поддържане на постоянна теглителна сила, а от там и на постоянно ускорение. Известно е още, че всички моментни промени в големината на ускорението при потегляне ще предизвикат и пропорционални изменения в динамичните сили, които натоварват системата.

Водещата цел в това примерна изследване на описания обект е именно функцията на ускорението. Съществената част от изследователската методика представлява провеждане на серия от симулационни пускови процеси с различна по вид функция на теглителната сила, както е описано по-горе. По този начин са осъществени пет серии на симулация на системата като за всички се регистрират функциите на скоростта $V(t)$ и на ускорението $j(t)$ за локомотива и за един или повече вагони.

Методиката на научното изследване е изцяло в съответствие с набелязаните по – горе предпоставки, цели и начини за осъществяването им.

Уравнението, което описва движението на системата, представено в матрична форма, има вида

$$M.\ddot{\vec{x}} + B.\dot{\vec{x}} + C.\vec{x} = \vec{F}(t) \qquad (1.1)$$

където $\vec{x} = [\ x_1(t)\ x_2(t)\ x_3(t)\ ]^T$ - е вектора на обобщените координати

M, B и C са съответно матрицата на масите, демпфирането и коравината, т.е.:

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \qquad B = \begin{bmatrix} b_1+b_2 & -b_2 & 0 \\ -b_2 & b_2+b_3 & -b_3 \\ 0 & -b_3 & b_3 \end{bmatrix} \qquad (1.2)$$

$$C = \begin{bmatrix} c_1+c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2+c_3 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix} \qquad (1.3)$$

Векторът $\vec{F}(t)$ е динамичната сила, която в този числен пример е постоянна, тъй като са приети опростяващите допускания, че системата за управление може да формира такава функция на изменение на двигателния момент през пусковия период, която ще осигури равноускорителен или друг по-благоприятен пусков процес. Една от възможностите за решаване на тази задача е използването на SIMULINK от MATLAB. Другата – е численото интегриране да се извърши с инструментите на ITI-Sim 2.2, както това е направено в следващата част от работата.

На фиг. 2, се вижда,че симулационният модел на системата съдържа освен възлите, които представляват кинематичната верига (масови, еластични, демпфериращи и силови), но и немеханичните генераторни блокове, които са необходими за дефиниране на разнообразни задаващи функции на входящата величина, в случая – на теглителната сила.

Параметрирането на модела е извършено в съответствие с методиката за изпитване и се състои от два етапа:

I етап

– Задаване на действителната маса според началните условия на всеки масов възел от структурната блоксхема (вагони или локомотив), както и маркиране на опцията за протоколиране на кинематичните величини (преместване, скорост и ускорение на масовия център). По този начин се осигурява възможност за отчитане на моментните стойности на тези величина във всеки момент от времето за симулация.

– Задаване на параметрите на еласто-демпфериращите свързващи блокове (буфери) в системата, както и на същата опция за протоколиране на резултатите.

– Задаване на големината и посоката на динамичната компонента на двигателната (теглителната) сила на локомотива.

II етап

– Уточняване на вида на независимата променлива кинематична величина (сила, скорост, ускорение или преместване), както и на нейната функция от времето (конс-

танта, полиномна, периодична, експоненциална или импулсна).

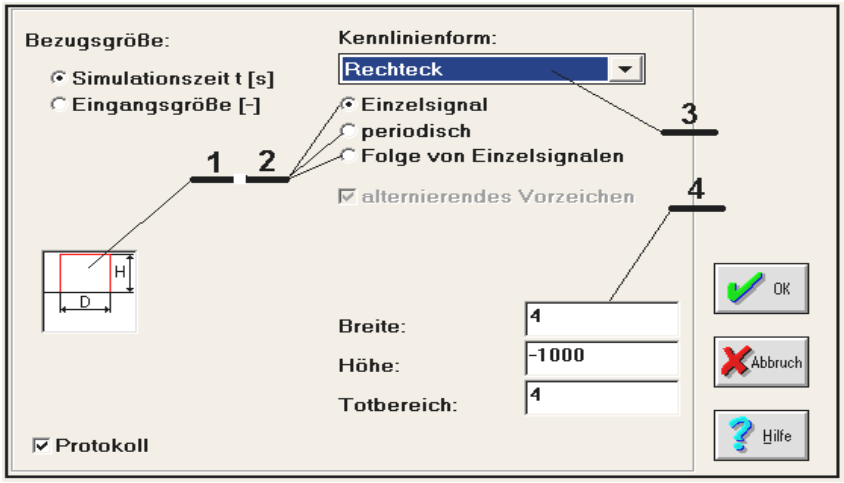
– Избор на директно програмно задаване през съответния възел от структурната схема или косвено формиране на задаващата функция посредством сигнал-генераторен блок.

След преценка на целите на този пример за приложение на програмата ITI – Sim 2.2 в областта на рудничните релсово-колесни транспортни машини, беше възприета методиката за симулиране на динамичен преходен процес при потегляне и ускоряване на описаната примерна влакова композиция, състояща се от един локомотив $(M_Л = 10000kg)$ и два вагона ВНР 2,8 $\left(M_B^T = 4000kg\right)$ със зададена импулсна форма на динамичната компонента на теглителната сила.

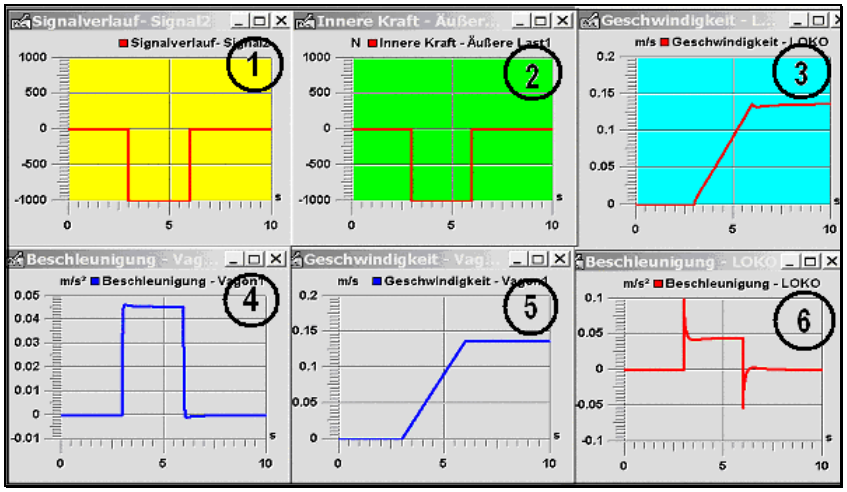
Резултати и анализ на резултатите от изследването

Всички резултати са систематизирани и представени в графичен вид на фиг. 3 до фиг. 14 и могат да бъдат разделени в същите групи както при параметрирането, според вида на функцията $F_{ДИН}^{Л} = f(t)$. Тези предпоставки отговарят на следните реални за практиката случаи на пускане при потегляне на рудничните електролокомотиви с постоянна големина на теглителната сила:

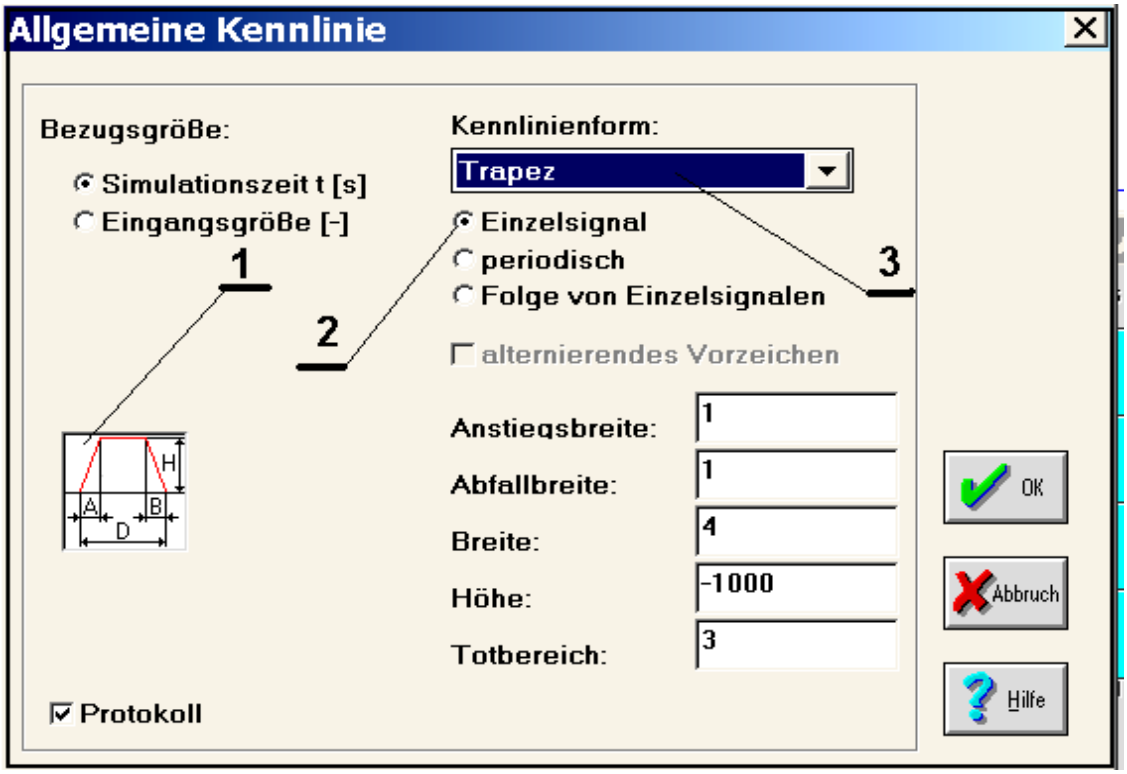
1. ***Правоъгълен*** импулс на $F_{ДИН}^{Л} = f(t)$ и амплитуда (-1000N при действие на опън) и ширина $t_И = 6s$ - виж фиг. 3 и фиг. 4, позиция 1 и 2.
2. ***Трапецовиден*** импулс със същата амплитуда и ширина $t_И = (3x2)s$ - виж. фиг. 5 и. фиг. 6, позиция 1 и 2.
3. ***Синусов*** импулс с амплитуда (-1000N) и ширина $t_И = 4s$ - виж фиг. 7 и фиг. 8, позиция 1 и
4. ***Гаусов*** импулс със същата амплитуда и ширина $t_И = 4s$ - виж. фиг. 2.9 и фиг. 2.10, позиции 1 и 2.
5. ***Сплайн*** – правоъгълен или с друга форма, която се задава в табличен вид чрез стойностите на характерни точки – същата амплитуда и $t_И = 2s$ - виж фиг. 11, 12, 13 и 14.



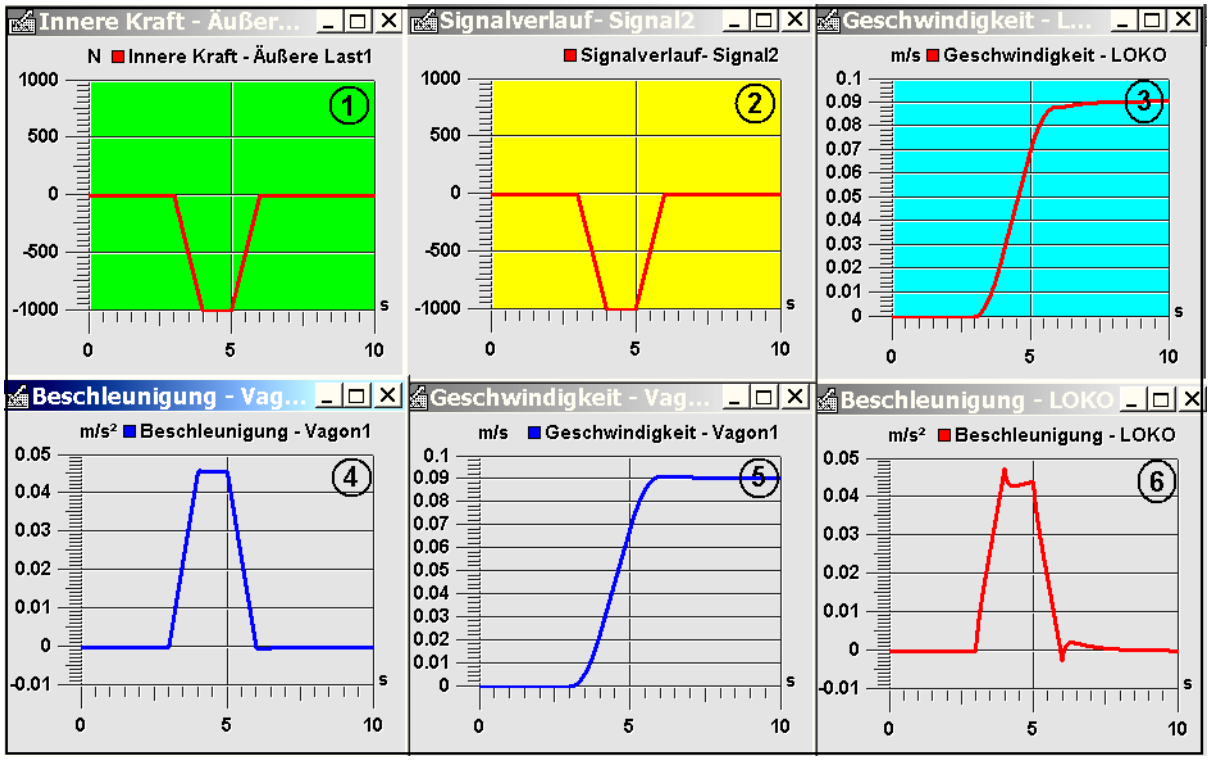
Фиг. 3.



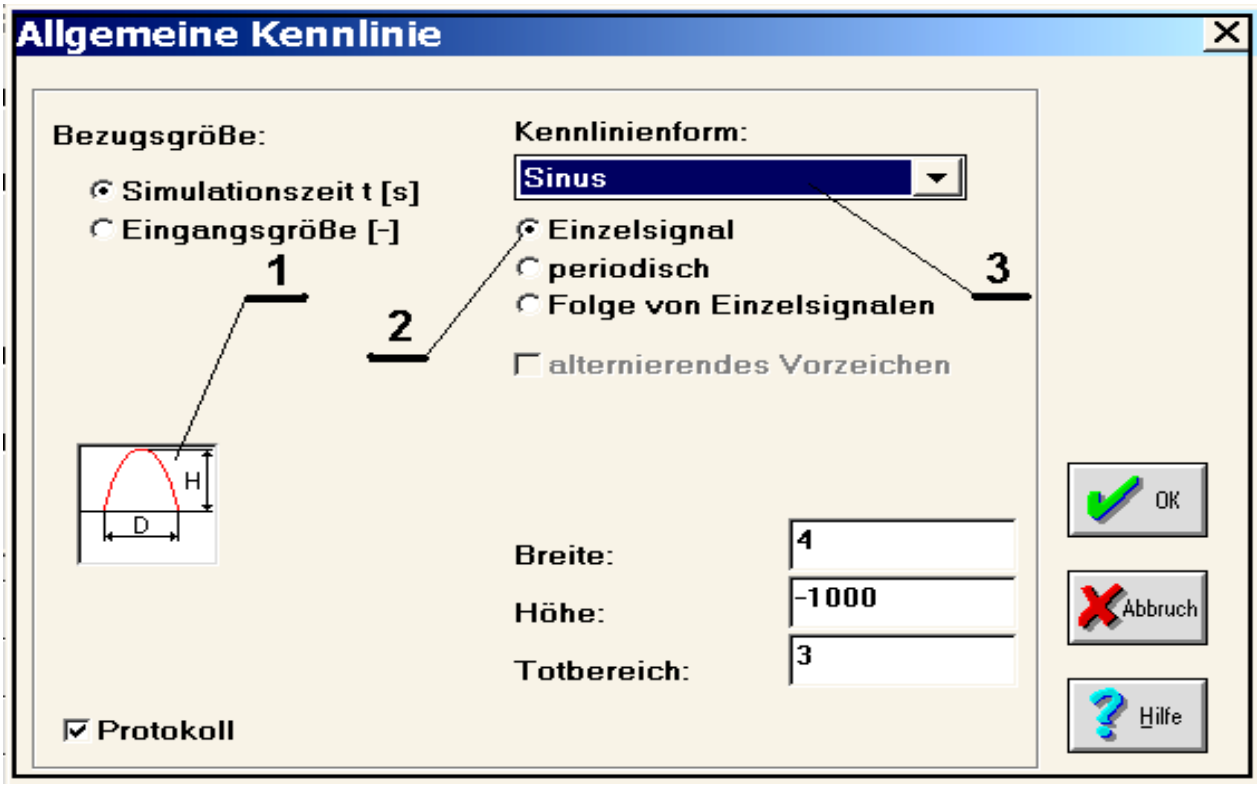
Фиг.4.


Allgemeine Kennlinie
Bezugsgröße:
Simulationszeit t [s]
Eingangsgröße [-]
Kennlinienform:
Trapez
Einzelsignal
periodisch
Folge von Einzelsignalen
alternierendes Vorzeichen
Anstiegsbreite:
1
Abfallbreite:
1
Breite:
4
Höhe:
-1000
Totbereich:
3
Protokoll
OK
Abbruch
Hilfe
1
2
3
H
A
B
D

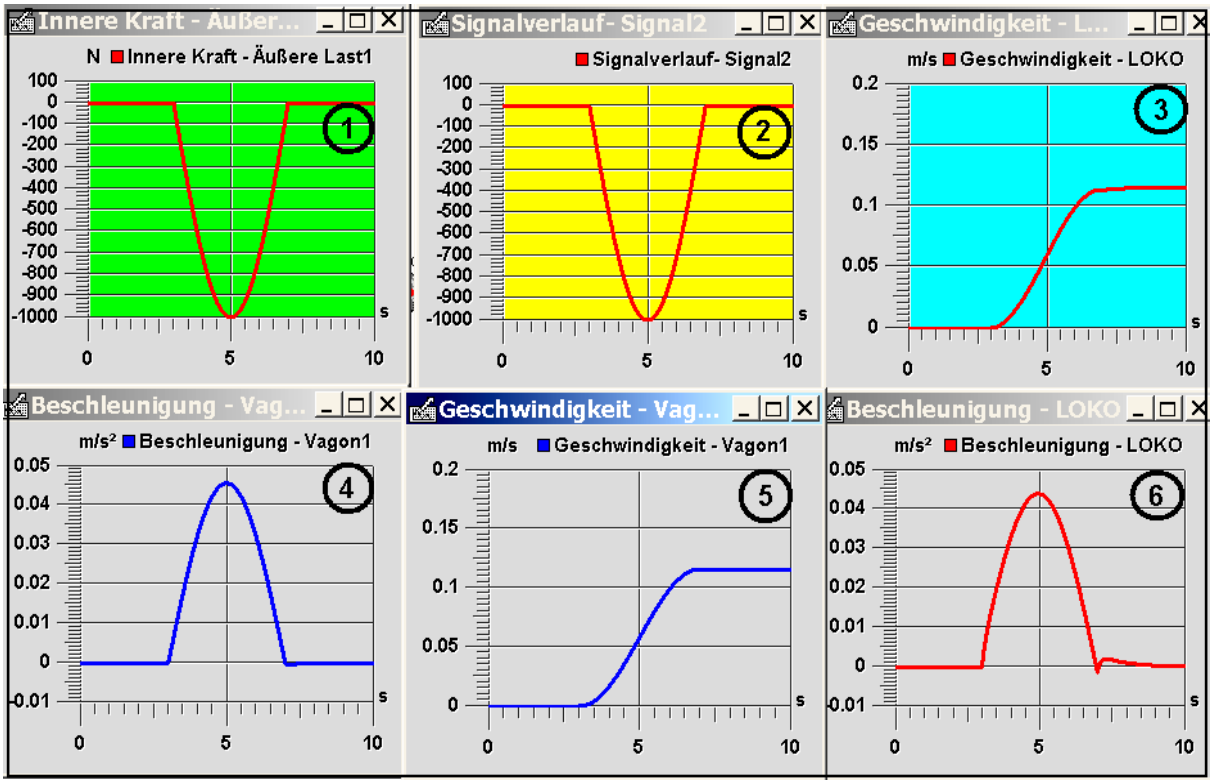
Фиг. 5.


Innere Kraft - Äußer...
N Innere Kraft - Äußere Last1
Signalverlauf- Signal2
Signalverlauf- Signal2
Geschwindigkeit - L...
m/s Geschwindigkeit - LOKO
Beschleunigung - Vag...
m/s² Beschleunigung - Vagon1
Geschwindigkeit - Vag...
m/s Geschwindigkeit - Vagon1
Beschleunigung - LOKO
m/s² Beschleunigung - LOKO
1
2
3
4
5
6
s

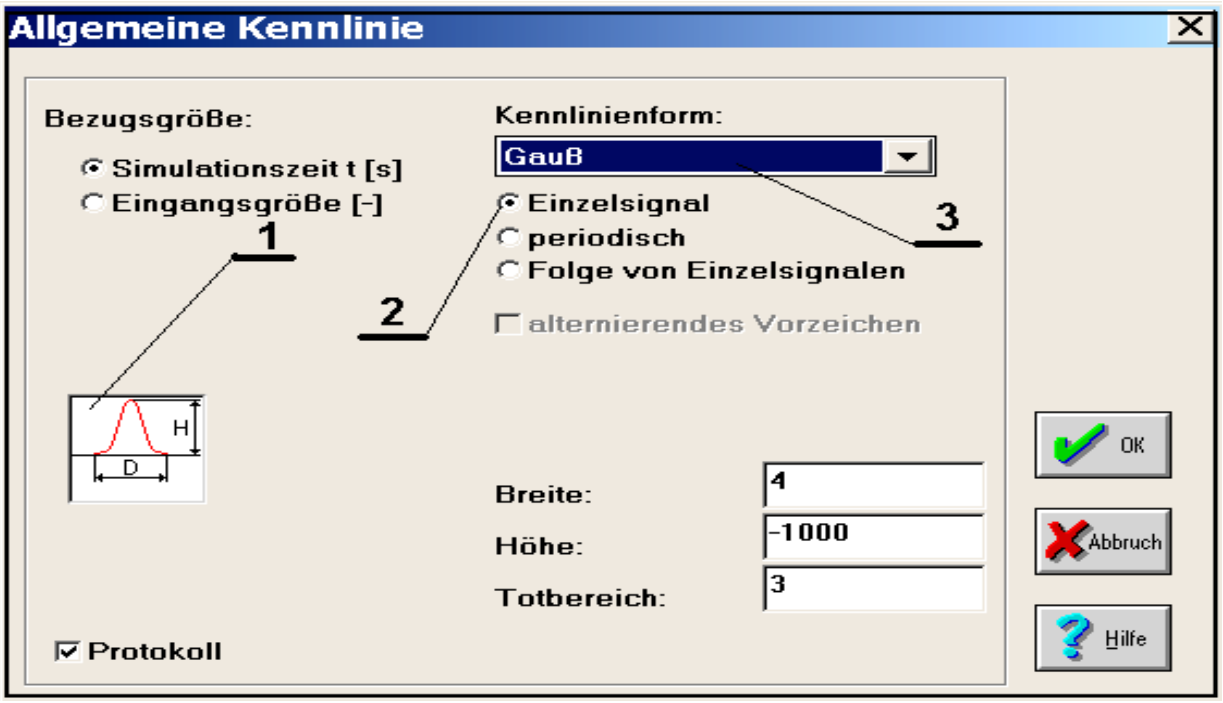
Фиг. 6.


Allgemeine Kennlinie
Bezugsgröße:
Simulationszeit t [s]
Eingangsgröße [-]
Kennlinienform:
Sinus
Einzelsignal
periodisch
Folge von Einzelsignalen
alternierendes Vorzeichen
1
2
3
H
D
Breite:
4
Höhe:
-1000
Totbereich:
3
Protokoll
OK
Abbruch
Hilfe

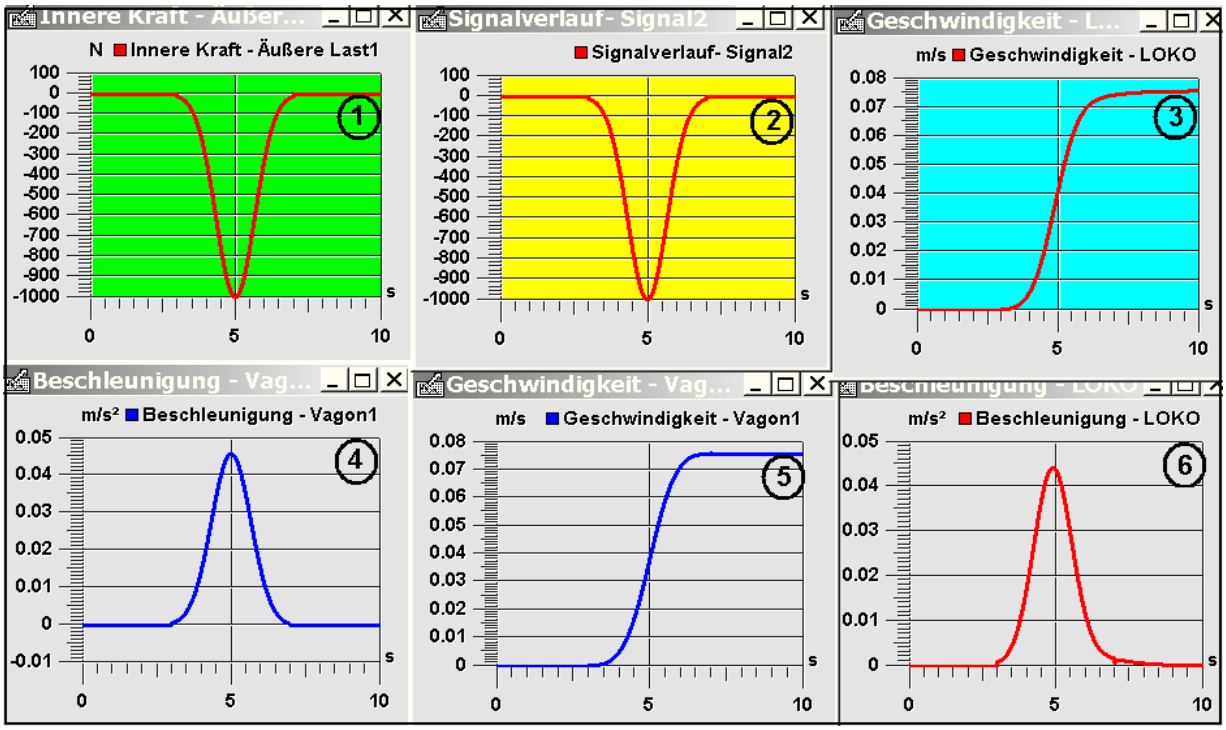
Фиг. 7.


Innere Kraft - Äußer...
N Innere Kraft - Äußere Last1
Signalverlauf- Signal2
Signalverlauf- Signal2
Geschwindigkeit - L...
m/s Geschwindigkeit - LOKO
Beschleunigung - Vag...
m/s² Beschleunigung - Vagon1
Geschwindigkeit - Vag...
m/s Geschwindigkeit - Vagon1
Beschleunigung - LOKO
m/s² Beschleunigung - LOKO
1
2
3
4
5
6
s

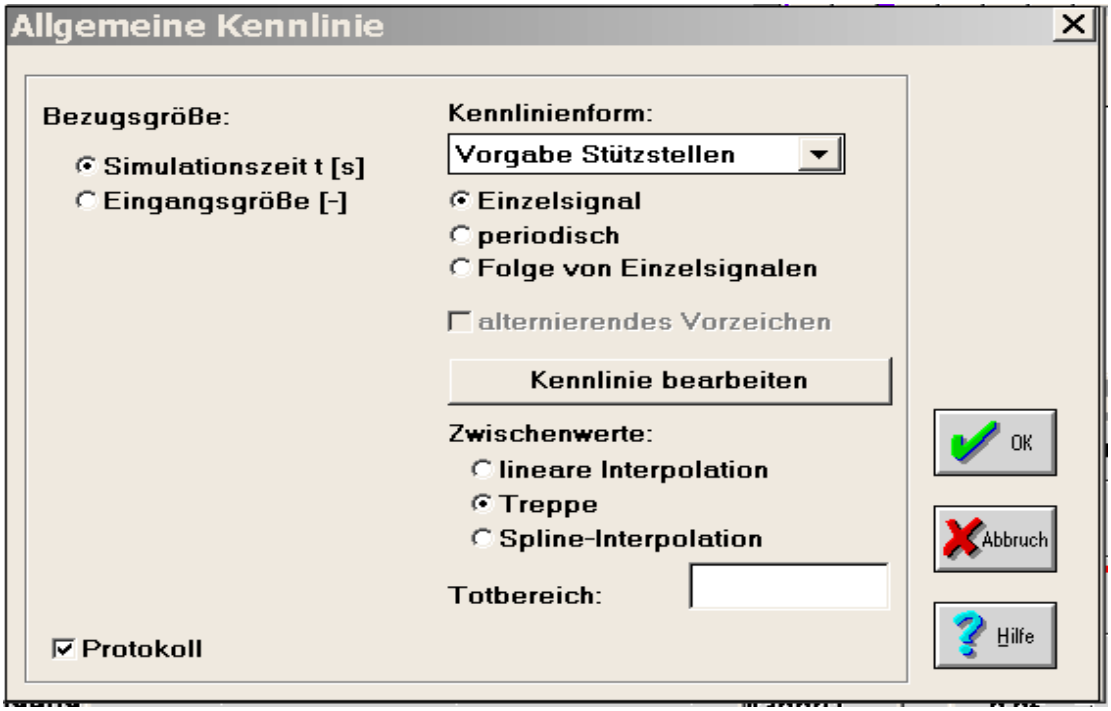
Фиг. 8.


Allgemeine Kennlinie
Bezugsgröße:
Simulationszeit t [s]
Eingangsgröße [-]
Kennlinienform:
GauB
Einzelsignal
periodisch
Folge von Einzelsignalen
alternierendes Vorzeichen
1
2
3
H
D
Breite:
4
Höhe:
-1000
Totbereich:
3
Protokoll
OK
Abbruch
Hilfe

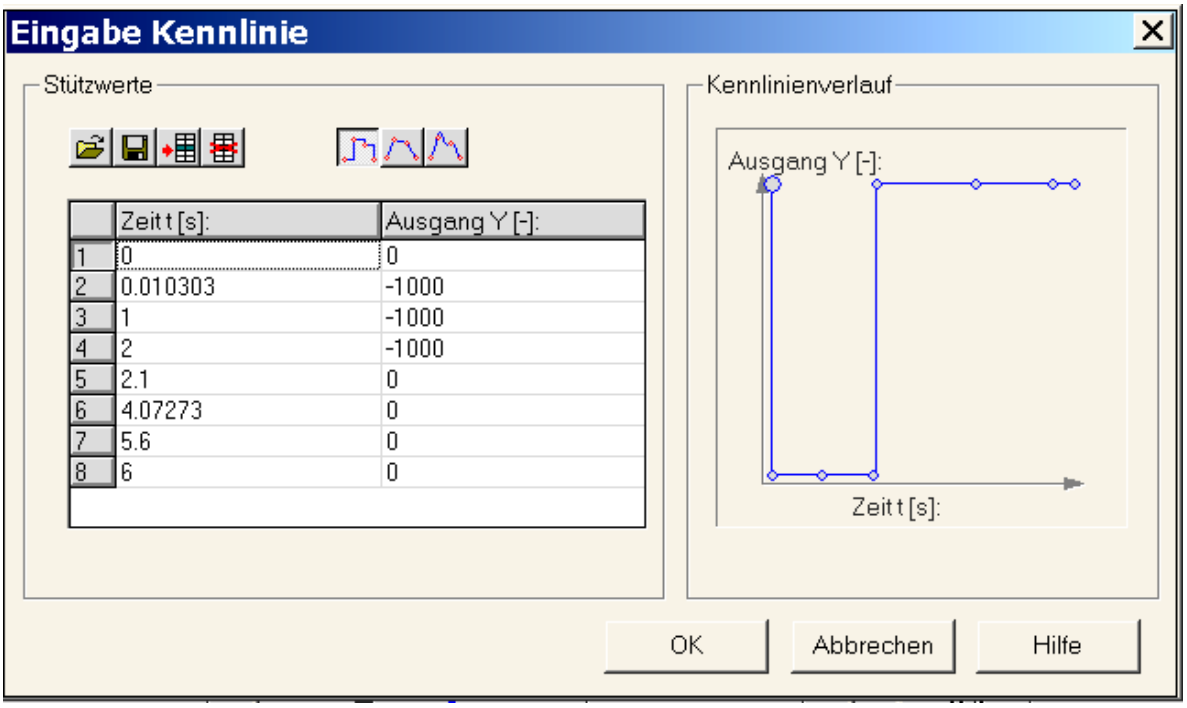
Фиг. 9.


Innere Kraft - Äußer...
N Innere Kraft - Äußere Last1
Signalverlauf- Signal2
Signalverlauf- Signal2
Geschwindigkeit - L...
m/s Geschwindigkeit - LOKO
Beschleunigung - Vag...
m/s² Beschleunigung - Vagon1
Geschwindigkeit - Vag...
m/s Geschwindigkeit - Vagon1
m/s² Beschleunigung - LOKO
1
2
3
4
5
6
s

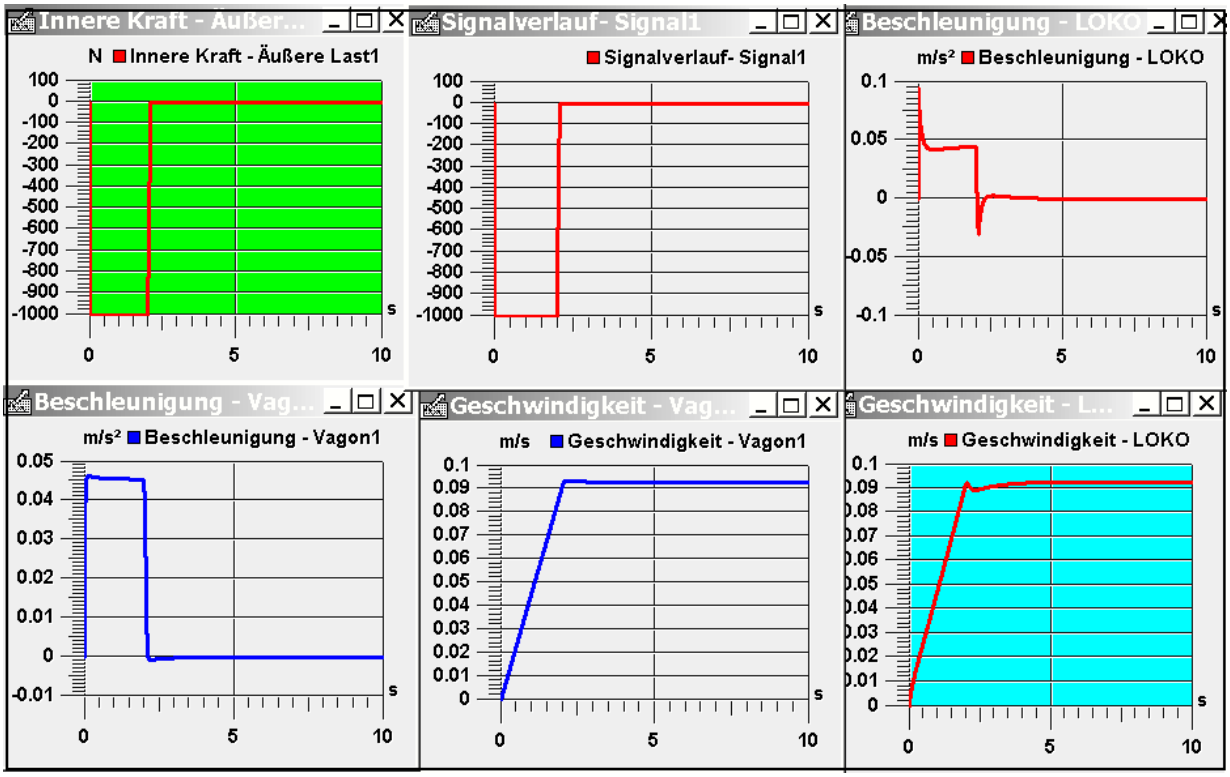
Фиг. 10.


Allgemeine Kennlinie
Bezugsgröße:
Simulationszeit t [s]
Eingangsgröße [-]
Kennlinienform:
Vorgabe Stützstellen
Einzelsignal
periodisch
Folge von Einzelsignalen
alternierendes Vorzeichen
Kennlinie bearbeiten
Zwischenwerte:
lineare Interpolation
Treppe
Spline-Interpolation
Totbereich:
Protokoll
OK
Abbruch
Hilfe

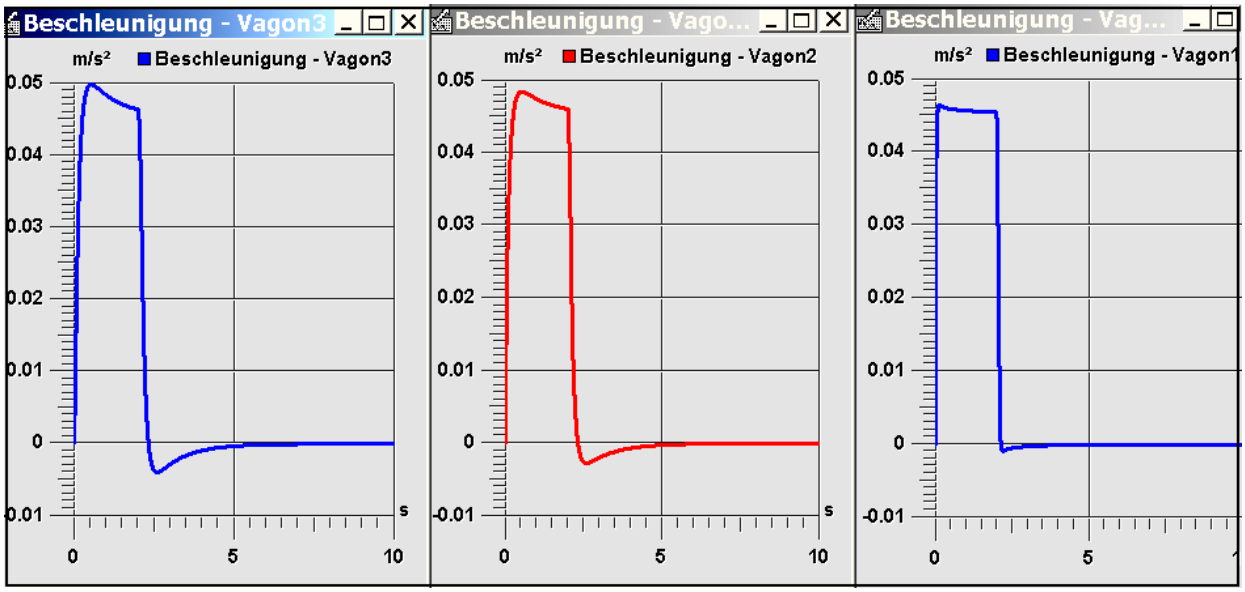
Фиг. 11.


Eingabe Kennlinie
Stützwerte
Zeit t [s]:
Ausgang Y [-]:
1 0 0
2 0.010303 -1000
3 1 -1000
4 2 -1000
5 2.1 0
6 4.07273 0
7 5.6 0
8 6 0
Kennlinienverlauf
Ausgang Y [-]:
Zeit t [s]:
OK
Abbrechen
Hilfe

Фиг. 12.



Фиг. 13.



Фиг. 14.

Още в първата серия на експерименталните изследвания беше установено несъответствие между очакваната теоретична и получената функция на ускорението на локомотива – фиг. 3, позиция 6. Отнася се до пиковите отклонения на кривата на ускорението на локомотива, които имат значителна (почти 100 %) амплитуда спрямо установената стойност. Тъй като изследването е извършено върху примерен модел на механична система със значително по-голяма еластичност на прикачните устройства от тази каквато имат в действителност ,може да се направи извод, че за практическите условия на работа, това деформиране на кривата $J^n = f(t)$ е несъществено.

От гледна точка на детайлното изследване на преходните процеси, с цел подобряване на управляващата функция на системата за управление и оптимизиране параметрите на пусковите режими, посочените неблагоприятни особености на функцията $J^n = f(t)$ са значими.

В това примерно изследване е показано как с вариране на формата на управляващата функция, която се генерира от сигнал-генераторния блок може да се повлияе положително върху рязкостта на пусковия процес (виж фиг. 4, поз. 3 и фиг. 10, поз. 3 и поз. 6).

Заключение

В резултат на извършеното компютърно моделно изследване на динамичните процеси при руднични влакови състави с методите на симулацията и инструментите на програмата ITI-Sim 2.2, може да се направи следното обобщение:

1. Създадена е методика за изследване на многомасови механични системи в истационарни режими чрез компютърна симулация на релсово-колесни минни транспортни машини.

2. Практическото приложение на този метод за решаване за решаване на конкретни задачи от областта на оптимизирането на механични преходни процеси, чрез намаляване на тяхната динамика, може да има значителен технико-експлоатационен и икономически резултат.

Литература

Иванов А. *Моделиране на динамични задачи*, София, АтеНово 2001.

Минков П. *Електрическа тяга*, София, 1992.

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 61-66

System for Secondary Cleaning of the Belt of a Conveyor with Two-Drum Drive

Neli Stefanova, Matei Mateev

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

ABSTRACT. The paper treats a system for secondary cleaning of the belt of a conveyor with two-drum drive consisting of a cleaning device and units providing its assembly, adjustment, operation and maintenance.

СИСТЕМА ЗА ВТОРИЧНО ПОЧИСТВАНЕ НА ПЛАТНОТО НА ГЛТ С ДВУБАРАБАННО ЗАДВИЖВАНЕ
РЕЗЮМЕ. Докладът третира система за вторично почистване на ГЛТ с двубарабанно задвижване, състояща се от чистачно устройство и възли, осигуряващи монтажа, регулировката, експлоатацията и поддръжката му.

The scraping cleaning devices for conveyor belts removing the stuck pollutions in tangential direction (thick scrapers, sections, cords, threads of brushes, liquid or gas jets) are thought to be quite well applicable in mining industry because of their design and operational features, which answer the conflicting demands for high cleaning efficiency as: minimal belt wear, selection of the device parameters with a view an optimal operating duty to be provided, adjustment without the conveyor to be obligatory stopped, possibility for operation of the latter in case of the cleaning device failure, etc. The prospects of their successful application in the branch are connected with the possibilities for modernization and improvement by utilization of different in shape, design, material and pliability in the direction of the belt holder as well as of self-adjusting (automatic) pressing devices. The possibilities for the cleaning blades to be manufactured from different in properties materials (hard and wear –resistant steel plates, polyurethane, hard rubber, other types of special polymers, metal ceramics reinforcement) depending on the design features and operational conditions of the belt conveyor itself should not be neglected as well.

A good effect could be achieved at the two-stage diagram for the conveyor belt cleaning. Usually the first stage (primary cleaning) aims at the cleaning of about 80% of the whole pollution (Тарасов, 1993; Стефанова, Матеев, 2003; Стефанова, Матеев, 2004).

The so called secondary cleaning provides the removal of that permanently stuck to the belt material that has been left after the primary stage.

The necessity of secondary belt cleaning devices application could be grounded as follows:

1. During the operational process the primary belt cleaning device effectiveness gradually decreases because of its actuator wear;
2. Permanently stuck (i.e. left after the primary cleaning) material coat with minimal thickness of about 0.15mm could cause sprinkling of tones of material in the under conveyor area and its removal is connected with considerable expenditures and specialized engineering use (Лившиц, 1974).

It should be taken in consideration that the cleaning stage determines to a great extent the type of the material for the cleaning blades manufacture.

The choice of the belt cleaning devices should be in conformity with the concrete company features (mining conditions, physical-mechanical properties of the material subjected to transportation, belt conveyor maintenance and repairs organization, maintenance staff qualification) and be conductive to the achievement of economic effect by the operation and maintenance costs decrease.

For cleaning of the very adhesive and abrasive clays from the overburden and the coal seam layers sticking to the belt surface of the conveyors in the opencast mines MARITZA-IZTOK has also been chosen the two-stage diagram, which is realized by:

- A primary belt cleaning device with rubber blades;
- A cleaning device with reinforced steel blades for the stuck material scraping from the deflecting drum mantle.

In order to avoid typical of this secondary belt cleaning method disadvantages as:

1. Increased energy consumption (for the material compaction on the drum surface by the tightly stretched belt, which partially covers the latter; for the already compacted by the belt material);
2. Fast blades wear – especially of those disposed at the drum central part;
3. Change for the worse of the drum cleaning and consequently – appearance of transverse stresses in the belt due to its flexure around the tubby compacted material on the deflecting and tightening drums;
4. Material sprinkling along the whole conveyor layout – a result from the unsatisfactory cleaning,

a complete system for secondary belt cleaning has been developed, tested and introduced in practice by the designer's team. The design and operational features of the belt conveyors operating in the conditions of opencast mines MARITZA-IZTOK as:

- High motion speed;
- Different degree of material adherence to the belt surface;

- Presence of metal clamps and rivets on the belt – a result from emergency repairs (consequence of the belt small parts splitting);
- High abrasiveness of the transported material,

have been taken into account at the system development.

As a fundamental element of the system is regarded the unit BELT CLEANING DEVICE (BCD) consisting of a bearing beam, blade holder with built in damping elements and the cleaning blades (Стефанова, Матеев, 2004). Its general view is shown in fig. 1. The device design features let the metal clamps and rivets pass and also provide simplified operation, maintenance, adjustment and direct mounting to the belt conveyor frame.

Fig. 1.

During the device development it is specified that for the operational tests and further use it has to be mounted to the double drum drive head of a belt conveyor 1800 (BC - 1800), characterized by layout length 1014m, belt motion speed 5,25 m/s and aggregate installed capacity of the three driving electric motors 1680kW.

After a thorough inspection of the drive heads of the belt conveyors 1800 operating in the opencast mine TROJANOVO-1 engineering documentation for cleaning system in two basic modifications, according to its position toward the driving drums, is developed:

1. Upper cleaning system (Fig. 2-c);

- Typical of the system is that the cleaning device is disposed directly after the conveyor upper driving drum, which diameter is 1630mm and length – 2100mm. The actuator disposal is provided by two articulated arms connected with the support beam of the end section of the BC – 1800 by the two specially developed for that purpose units SUSPENSION. The blades lifting and initial compression to the subjected to cleaning belt surface are accomplished by two steel ropes. Each of them has one end connected to the respective articulated arm (left or right) and other - to an anchor device. The latter, on its part is fixed to the conveyor transfer bin upper edge. The alteration in the ropes position (from horizontal to vertical) as well as the tensioning adjustment is provided by additional technical means. Units for prevention the rope from torsion or distortion at its tensioning adjustment are provided.

2. Down cleaning system (Fig. 2-a, b).

It is characterized by the cleaning device disposal in front of the second (down) conveyor driving drum.

Both of the diagrams provide possibility for:

- Disposal of the belt cleaning device in proximity of the line where the tightly stretched and set upright belt restores, respectively discontinues its contact with the second (i. e. down) or the first (i. e. upper) conveyor driving drum;
- Adjustment of this proximity, i. e. of the distance between the line, in which the belt cleaning device blades contact with the operational belt surface and that in which the latter is tangential to the cylindrical surface of the respective driving drum in priory determined limits, optimal, in terms of providing good effectiveness.

The modifications are consistent with the real conveyor belt position in the cleaning zone, which is at an angle of 23 degrees toward the horizon. Possibility for adjustment of the cleaning blades position in the zone disposed in the close proximity of the contact line of the belt with the driving drum is provided.

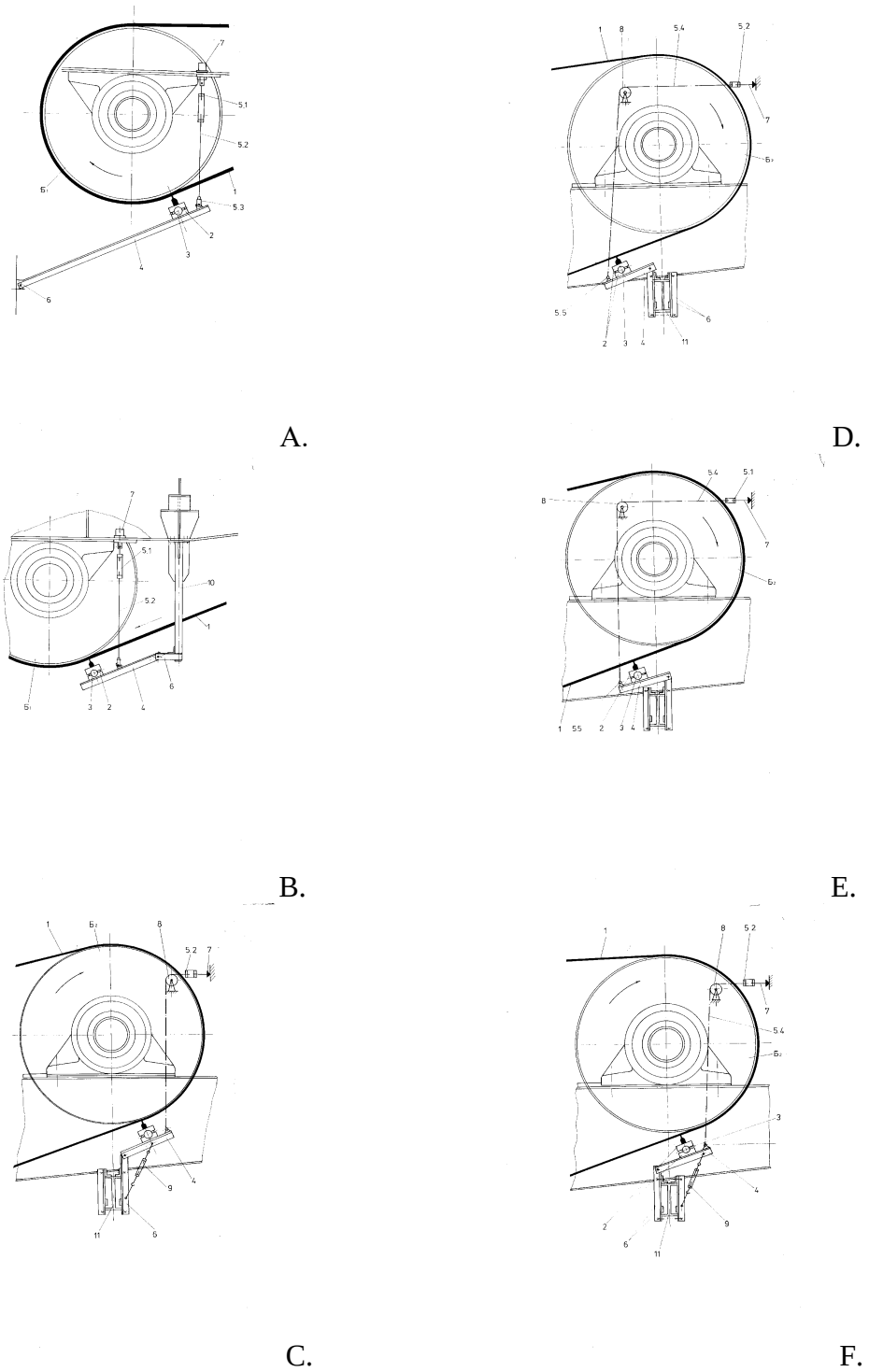


Fig. 2. $Б_1$ – down driving drum; $Б_2$ – upper driving drum; 1 – conveyor belt; 2 – two-jaw fixing device; 3 – actuator; 4 – articulated arm; 5 – tensioning device; 5.1 – clamp; 5.2 – stud; 5.3 – articulated joint; 5.4 – steel rope; 5.5 – ring-bolt; 6 – suspension; deflecting device; 8 – pulley; 9 – adjustable fixing drawbar; 10 – support; 11 – under gear supporting beam.

The differences between the two systems are shown in the design of the units for suspension and these intended for adjustment of the disposal and compression force of the actuator to the belt.

An analysis of the advantages and disadvantages has been made at the both of diagrams development:

1. Upper cleaning system.

1.1. Advantages.

- The tensioning clamps adjusting the cleaning blades compression to the belt are brought out at a comfortable, accessible place for the maintenance staff (i. e. they are disposed by the operator's cabin both sides);
- The actuators disposal (directly after the upper driving drum) creates preconditions for the material removed at the cleaning to be loaded on the strand of the accepting conveyor (in case of absence of a sleeve from conveyor belt) or on the platform (in presence of such a sleeve).

Fig. 3.

Fig. 4.

1.2. Disadvantages.

- The system fundamental units mounting to the support beam of the end section of the belt conveyor BC – 1800 necessitates the removal or displacement of the curtain from worn belt in front of the conveyor transfer bin;
- The mounting, dismantling and inspection of the belt cleaning device actuator requires a comparatively complex operation providing descent of the cleaning device to the end downward position to be carried down. Furthermore, it is necessary the conveyor way to be stopped because the maintenance staff, which is doing the operation could be located on the previous conveyor only;
- At the conveyor operation, the cleaning device blades are in a dangerous, inaccessible zone for the maintenance staff, so their condition could be judged only by indirect signs, such as the steel rope strain, etc.

2. Down cleaning system.

2.1 Advantages.

- The actuator disposal (directly before the down driving drum) provides accumulation of the material removed at the cleaning in the same depot (pile), where goes that scraped from the deflecting drum operational surface (Стефанова, Матеев, 2004). Furthermore, no changes in the technology of the material machinery removal from the depot are necessary;
- The mounting, dismantling and inspection of the cleaning elements could be realized from places safe and comfortable for the maintaining staff, such as the driving head platforms, i. e. the surface on which it's caterpillar drive is moves. At that, there is no need the conveyor to be obligatory stopped at the operations realization.

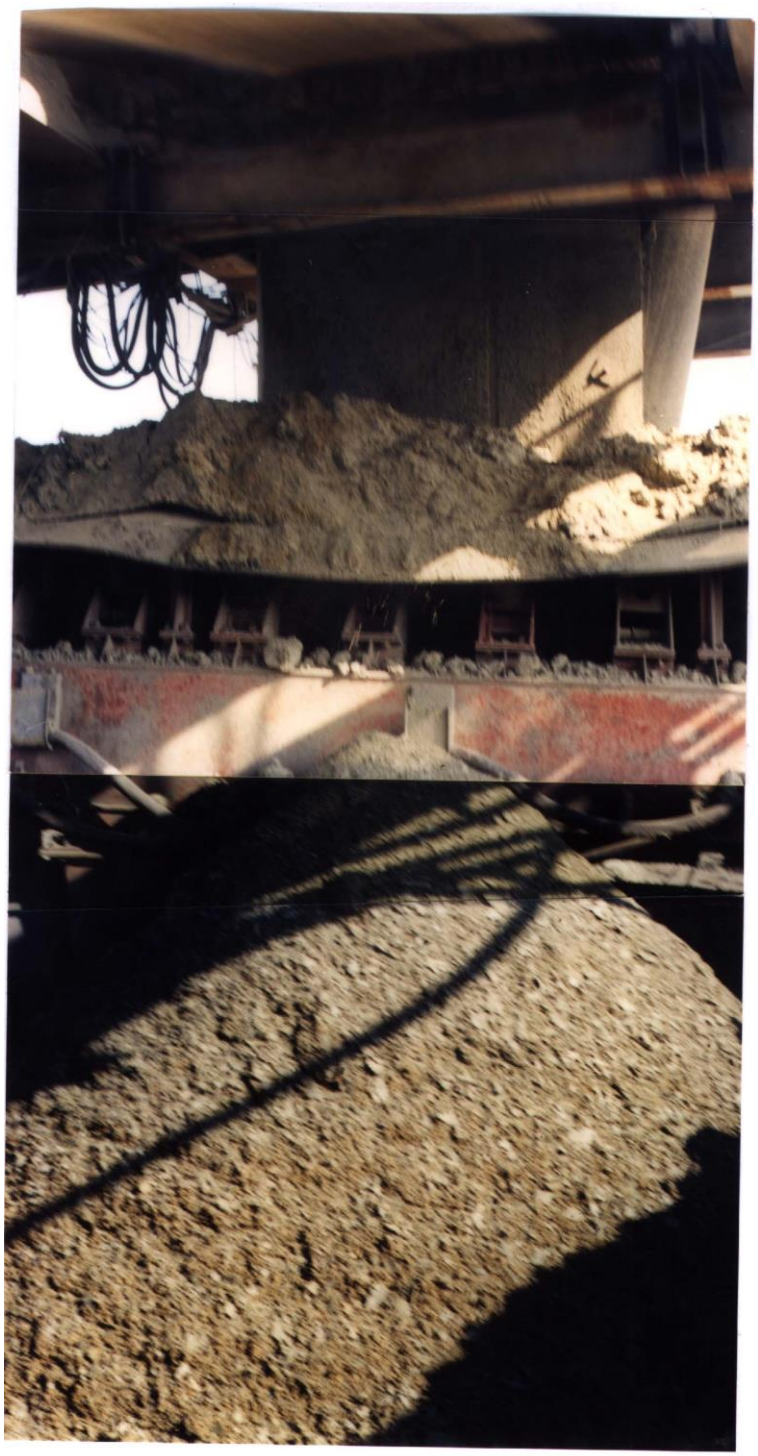


Fig. 5.

2.2 Disadvantages.

- Comparatively low disposal of the SUSPENSION unit, which makes the two articulated arms vulnerable in case of wrong maneuvers of the load-haul-dump machines raking away the pile of the scraped stuck material.

On the basis of the analysis results is determined the manufacture of the upper cleaning device (Fig. 2-c) as well as further operational tests for:

- Prove the system serviceability;
- Determination of the belt cleaning device effectiveness and reliability;
- Determination of the necessity of possible improvement not only of the entire system but of its mechanical diagram and fundamental components as well. Additional system modifications, allowing introduction of alterations by minimum changes of its elements have been developed in case of such a necessity (Fig. 2-d,e,f);
- Introduction of the system design features and the requirements of its adjustment and maintenance to the opencast mine technical staff.

Fig.6.

The upper system for secondary belt cleaning had been mounted and prepared for operational tests in the belt conveyor BC – 1800 (numbered as 1331) driving head on 01. 04. 2004. Up to the 30. 05. 2004 it operated together with another cleaning device (BCD - 1) and in the period 30. 05. – 30. 06. 2004 - with the BCD shown in Fig.1.

During the operational tests the system and the BCD have totally saved their initial serviceability (there are no damaged or worn out sectional blades, tensioning device self-loosening, etc.). It is reflected by a written statement, which recommends their further introduction in belt conveyors of the mentioned type, operating in the opencast mines MARITZA – IZTOK.

The general view of the cleaning device mounted in operational position is shown in Fig. 3. The system operational effectiveness is illustrated by the stage of belt cleaning from muddy mine body (overburden) with high abrasiveness (Fig. 4) and, by the quantity of the stuck material scraped in a shift (Fig. 5).

It is determined that due to the tested system for secondary belt cleaning and respectively to the cleaning device effective operation the device for the deflecting drum mantle cleaning operates in eased duty (Fig. 6).

References

Тарасов, Ю. Д. 1993. *Очистка конвейерных лент и под-конвейерного пространства*. М. Недра.

Стефанова, Н. Н.; Матеев, Н. М. 2003. *Modern belt cleaning devices for belt conveyors*. VII-а конференция по открит добив на полезни изкопаеми. Сборник доклади,стр. 247-252. Варна.

Стефанова, Н. Н.; Матеев, Н. М. 2004. *Греблово чистачно устройство за гумено-транспортна лента*. Четири-надесета научна конференция с международно участие "Транспорт 2004". Сборник доклади. С.

Лившиц, В. И. 1974. *Об очистке конвейерных лент*. Промышленный транспорт, №2.

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 67-68

Технологични възможности при шлифоване на детайли от стомана 45

Генадий Таков, Райна Вучева, Венелин Ризов

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

РЕЗЮМЕ. Представят се резултати от експериментално изследване на процеса шлифоване на стомана 45. Видът на стоманата е избран съобразявайки се с приложимостта и при производство на детайли за минната техника. Цел на работата е намиране на режими на шлифоване при които се получават най- добра гладкост след обработване при висока относителна производителност. Постигнатите резултати могат да бъдат използвани като препоръчителни пряко в практиката.

TECHNOLOGICAL OPTIONS OF THE GRINDING PROCESS OF STEEL 45
ABSTRACT. In this paper are reflected results of the experimental research of the process of grinding of steel 45 . The type of the steel is chosen connected with the application and production of details for mining technique. The purpose of this paper is to find out types of grinding with the best smoothness after processing with high relative performance. Received results may be used as recommended directly in the practice.

При технологичните процеси за производството на машини и съоръжения за минната механизация, важно значение имат довършителните технологични операции. Съществен дял са процесите свързани с шлифоване на заготовки от конструкционна стомана 45 както закалени така и незакалени. Прецизно шлифоване се използва в редица случаи, като например обработка на лагерни шийки на детайли от типа оси и валове.

В процеса на прецизно шлифоване обикновено се търси (при спазване на висока геометрична точност) ниска грапавост при задоволителна относителна производителност (П0). Последното понятие представлява отношението между количеството на отнетия метал от заготовката към изразходвания за това абразив. Относителната производителност (П0) е дефинирана винаги за шлифоване без прегаряния по обработваната повърхнина.

Усъвършенстването на шлифоването като общ технологичен процес е комплексен въпрос, включващ качеството на абразивния инструмент, усъвършенстване на шлифовъчните машини, търсене на нови мазилно охлаждащи течности. Не на последно място в тази задача е намирането на подходящи технологични режими на работа.

Целта на настоящата работа е да илюстрира резултатите от едно търсене на оптимални режими при шлифоване на образци от стомана 45 (БДС 5485-75).

При конкретната производствена ситуация най-добрата работа ще зависи от оптималните условия, което не означава само увеличаване на режимите на шлифоване, а търсене на онази разумна граница между интензивен режим на работа и икономически целесъобразен разход на абразивен инструмент.

За реализиране на оптимизация на процеса шлифоване при заготовки от стомана 45 е приложен метод на математично моделиране на процеса, при следните параметри на оптимизация:

- относителна производителност (По);
- получената след обработка грапавост (Ra, μm);
- експлоатационна трайност на диска, т.е. времето между две последователни изправяния, предхождащи получаването на прегаряния по обработваната повърхнина, възникване на вибрации или промяна формата на профилите на диска.

Търсенето на оптимален техологичен режим е целесъобразно да се постигне само при правилен избор на шлифовъчен диск, с подходяща характеристика. По рано проведени изпитвания с използване на дискове от ЕН, ЕБ, ЕР (БДС 5729-65) показаха, че най-високата относителна производителност за изследвания материал показват дискове от електрорунд – рубин ЕР. Ето защо изпитанията са проведени с дискове от този вид.

Отразени са и анализирани резултати от експериментална работа с дискове тип ПП 200x20x32 мм, твърдост СМ1, свръзка К, структура 6. Машината на която се работи е шлифовачна тип SPC – 20 (Полша), с използване на мазилно – охлаждаща течност. Опитните образци са от стомана 45 незакалени и закалени до HRC = 62 – 65.

Като променливи фактори са избрани скоростта на детайла (V, m/min); дълбочина на рязане (t, mm) и зърненост на абразивния диск (C*).

Параметрите на целевата функция са относителната производителност (По) и получавана грапавост след обработване (Ra), при извършване на трифакторен експеримент.

Математичната обработка на получените резултати за шлифоване на стомана 45, закалена до HRC = 62 – 65 дава следните зависимости.

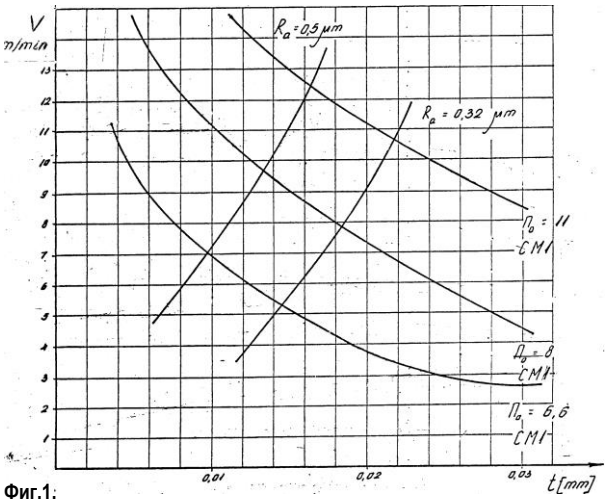
За относителната производителност:

$$По = 601\ t.^{0,63} . V.^{-0,18}\ C^{*0,44}$$

и за получената след обработка грапавост:

$$Ra = 0,5\ t^{0,01} .V^{-0,18}. C^{*0,23},\ \mu m$$

Графичната интерпретация на получените математични зависимости при шлифоване на стомана 45, за експерименталните условия са показани на фиг. 1 и фиг. 2.

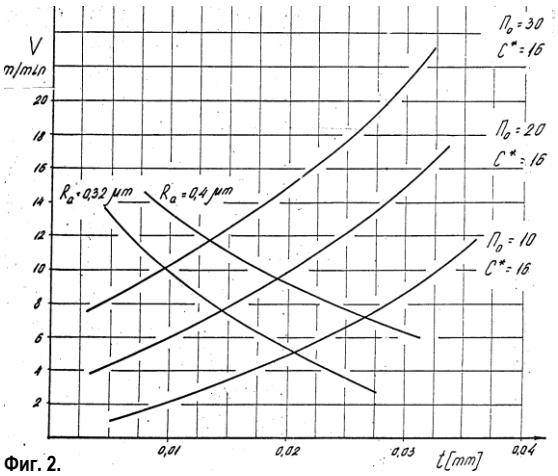


Фиг.1:

Получените графични зависимости определят и препоръчителните зони за работа при шлифоване на този вид материал.

За незакалена стомата 45 областта се ограничава между кривите на относителна производителност от 8<По<11 и кривите на грапавостта 0,32<Ra<0,5 μm (фиг.1).

При нетермообработена стоманата тази област се измества при стойности 20<По<30 и 0,32<Ra<0,5 μm (фиг. 2).



Фиг. 2.

По високата относителна производителност при закалената стомана може да се обясни с променената микроструктура следствие термообработката. Получената при закалка мартензитна структура благоприятства микрорязането, за сметка на пластичното деформиране на метала. Този факт е значим при обработване с дребнозърнести абразиви (в случая ЕР16), където металоотнемането е предимно за сметка на микрорязане (Корчак, 1974 г.).

Извършените оптимизационни експерименти и получените зависимости дават основание да се направят следните изводи.

1. Добра обработваемост при шлифоване с дискове от ЕР показват както незакалената, така и закалената стомана 45. По добра е обработваемостта на закалената.
2. При прецизно шлифоване на стомана 45 с дискове от ЕР 16, не представлява затруднение получаване на грапавост на обработената повърхнина от Ra < 0,32 μm. Следва да отбележим, че при прецизно шлифоване относителната производителност не е от съществено значение, а приоритетно значение е търсенето на по-ниска грапавост и висока точност.
3. Получените резултати дават възможност за определяне на препоръчителни стойности на изследваните технологични фактори:

- скоростта на детайла трябва да бъде в границите 8 < V < 12m/min.
- дълбочината на шлифоване да се поддържа в стойности 0,01 < t <0,02 μm.

Литература

Божанов Б. С. *Статистически методи за моделиране и оптимизация на многофакторни обекти*. С., Техника, 1973.

Корчак С.Н. *Производительность процеса шлифования стальных деталей*. М. Машиностроение, 1974, 278

Македонски. Б. Г. *Отчет по тема Г44*, С., ЦММ, 1981.

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 69-72

Измерване параметрите на електростатичното поле на плоски диелектрици по безконтактен метод

Стефан Стефанов, Иван Милев, Иван Проданов

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

РЕЗЮМЕ. Интензитетът на електростатичното поле е универсален параметър за оценка на степента на електризация.
В доклада е описан принципът на действие на устройство за безконтактно измерване на интензитета на електростатичното поле на наелектризиран плосък диелектрик. Изведени са аналитични изрази за влиянието на сензора, внесен в електростатичното поле, върху точността на измерването.
Посочен е начинът за еталониране на измервателния уред.

MEASUREMENT BY A NON-CONTACT METHOD OF THE ELECTROSTATIC FIELD PARAMETERS OF FLAT DIELECTRICS

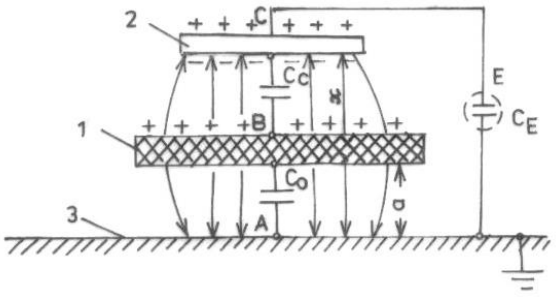
ABSTRACT. The electrostatic field strength is a universal parameter for electrification degree evaluation.
The action principle of a device for non-contact measurement of the electrostatic field strength of electrified flat dielectric is described in the paper. Analytical expressions about the influence of the introduced in the electrostatic field sensor on the measurement accuracy are worked out.
The measurement instrument calibration method is specified.

Съществуват различни методи за защита от статично електричество. Изборът на всеки един от тях зависи от конкретните условия, като преди всичко трябва да се оцени степента на електризация. Универсален параметър за оценка на степента на електризация е интензитетът на електростатичното поле. В редица случаи определянето на този параметър е силно затруднено. Така например при плоските диелектрици плътността на електростатичните заряди е неравномерно разпределена по цялата им повърхност. По тази причина потенциалът може да се дефинира точно само в дадена точка или област, след което се определя една обобщена стойност за цялата повърхнина. Освен това потенциалът зависи от разположението на диелектрика спрямо околните заземени конструкции, тъй като е функция на електрическия капацитет на диелектрика спрямо земя.

В настоящия доклад се предлага безконтактен метод за измерване на интензитета на електростатичното поле, който е лесно реализируем и е възможно да се постигне висока точност при измерването. Същността на метода се състои в измерване на индуктирания заряд на сензор, внесен в електростатичното поле, който заряд е пропорционален на измервания интензитет. Следва да се отбележи, че при измерване на интензитета зарядът трябва да бъде неизменен, за да не се изменя енергията на електростатичното поле.

Ако се приеме, че наелектризираният диелектрик 1 е зареден равномерно и повърхността му е еквипотенциална, измерването на интензитета на електростатичното поле може да се извърши по безконтактен метод чрез електрометър E с измервателна сонда (сензор) 2, съгласно показаната на фиг. 1. схема. На фиг. 1 с 3 е означена заземената проводяща повърхнина, спрямо която се отчита разпределеният капацитет C_O на заредения диелектрик спрямо земя, с C_C е означен капацитетът на плоския кондензатор, образуван между повърхността на сензора и на заредения диелектрик, а с C_E – капацитетът на електрометъра.

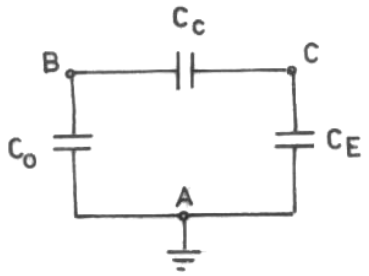
В качеството на електрометър може да бъде използван всеки измервателен апарат на напрежение с входно съпротивление не по-малко от 10^{12} Ω [1]. Най-простият от тях е волтметър от електростатичната система. Капацитетът на измервателния уред обикновено е известен. Капацитетът на съединителните проводници в повечето случаи може да се пренебрегне или непосредствено да се измери.



Фиг. 1.

Внасянето на сензора в електрическото поле на диелектрика води до деформиране на полето и до преразпределение на заряда между капацитетите C_O, C_C, C_E.

На фиг. 2 е показана еквивалентна схема на системата, която представлява паралелно включени към C_O, между точките A и B, на двата последователно свързани капацитети C_C и C_E.



Фиг. 2.

Първоначалният заряд на диелектрика, преди доближаване на сензора към него, се определя с израза:
$q_o = C_e.U$,

където $C_e = C_O + \frac{C_C.C_E}{C_C + C_E}$ е еквивалентният капацитет на системата спрямо земя, а U е напрежението между заредения диелектрик и земя.

Зарядът на диелектрика, измерен чрез сензора се определя с израза:

$$q_E = C_E.U_E ,$$

където $U_E = U\frac{C_C}{C_C+C_E}$ е напрежението между изводите на електрометъра, а C_E е неговият капацитет.

За отношението на двата заряда се получава:

$$\frac{q_o}{q_E} = \frac{C_O}{C_E} + \frac{C_O}{C_C} + 1,$$

откъдето $q_E = q_o \frac{1}{\frac{C_O}{C_E} + \frac{C_O}{C_C} + 1}$ (1)

За еднородна и изотропна среда интензитетът на електростатичното поле и повърхностната плътност на заряда, от гледна точка на тяхното измерване, са тъждествени, поради което равенство (1) добива вида:

$$E_E = E_O \frac{1}{\frac{C_O}{C_E} + \frac{C_O}{C_C} + 1}, \quad (2)$$

където E_O е първоначалният интензитет на полето на наелектризирания диелектрик преди внасянето на сензора за измерване, а E_E е измереният интензитет посредством внесения в полето сензор.

Входният капацитет на волтметрите от електростатичната система, използвани като електрометри, (например тип С 502 – руско производство) се изменя от 25 до 40 nF, а входното им съпротивление е 10^{10} Ω [2].

В такъв случай капацитетът на измервателния уред е много по-голям от този на заредения диелектрик спрямо земя $(C_E \rangle\rangle C_O)$ т.е. $\frac{C_O}{C_E} \approx 0$, при което уравнение (2) добива вида

$$E_E \approx E_O \frac{1}{\frac{C_O}{C_C} + 1}. \quad (3)$$

При въвеждане на параметъра $K = \frac{1}{\frac{C_O}{C_C} + 1} = \frac{C_C}{C_O + C_C}$,

се получава:

$$E_E = k.E_O . \quad (4)$$

В зависимост от разположението на диелектрика спрямо земя са характерни следните три случая:

а. Наелектризираният диелектрик е разположен на голямо разстояние от заземената повърхност (фиг. 1), при което може да се приеме, че електростатичното поле е еднородно. В този случай $a \rangle\rangle x$, при което $C_O \langle\langle C_C$, а $k \approx 1$. В този случай от (4) следва, че

$$E_E \approx E_O . \quad (5)$$

б. Наелектризираният диелектрик е разположен в близост до заземената повърхност, т.е. $a \langle\langle x$, при което $C_C \langle\langle C_O$, а $k = 0$. От (4) следва, че $E_E = 0$.

В този случай електростатично поле от външната страна на заземената повърхност не съществува.

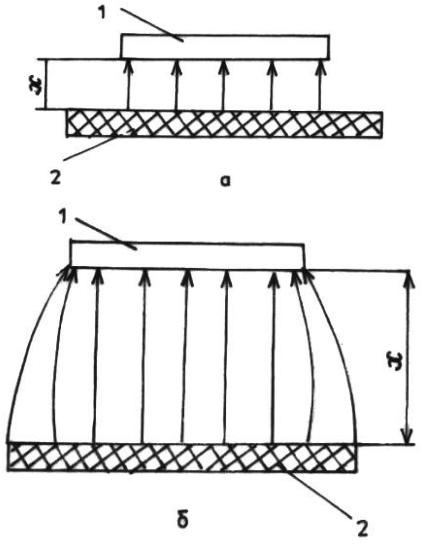
в. В общия случай, когато разстоянието x е съизмеримо с a , и капацитетът C_C е съизмерим с C_O то:

$k = \frac{1}{\frac{C_O}{C_C} + 1}$ и $C_C = \frac{\varepsilon_o.S_e}{x}$, откъдето

$$\frac{1}{k} = \frac{C_O}{C_C} + 1 = \frac{C_O x}{\varepsilon_o S_e} + 1. \quad (6)$$

В случая ε_o е диелектричната константа, а S_e е ефективната повърхност на измервателния електрод (сензор), която зависи от разстоянието x до заредената повърхност.

На фиг. 3 е показана картината на линиите на електростатичното поле при различни стойности на разстоянието x , където: 1 е сензорът, а 2 – наелектризираният диелектрик. При малки разстояния x (фиг. 3а) ефективната повърхност на сензора е равна на геометричната му повърхност, т.е. $S_e = S$, а при големи разстояния $S_e \rangle S$ (фиг. 3б). При кръгла форма на сензора $S_e = k_e.S$, където S е повърхността на сензора, а k_e - коефициент на повърхностна ефективност.



Фиг. 3.

С приближение може да се запише, че $S_e = \frac{\pi}{4}(d+x)^2$, при което

$$k_e = \frac{\frac{\pi}{4}(d+x)^2}{\frac{\pi}{4}d^2} = \left(1+\frac{x}{d}\right)^2, \qquad (7)$$

където d е диаметърът на сензора с кръгла форма.
При това равенство (6) добива вида:

$$\frac{1}{k} = \frac{C_O.x}{\varepsilon_o.k_e.S} + 1 = \frac{C_O.x}{\varepsilon_o S\left(1+\frac{x}{1+\sqrt{\frac{4}{\pi}}S}\right)^2} + 1,$$

или $$\frac{1}{k} = \frac{C_O.x}{\varepsilon_o \frac{\pi d^2}{4}\left(1+\frac{x}{d}\right)^2} + 1. \qquad (8)$$

Зависимостта $\frac{1}{k} = f(x)$ при $C_O = const$ и $d = const$ приема екстремална стойност, когато $x = d$, т.е.

$$\left(\frac{1}{k}\right)_{max} = \frac{C_O}{\varepsilon_o \pi d} + 1. \qquad (9)$$

При спазване на условието $x = d$ от (9) може да се определи коефициентът k, който има максимална стойност и е постоянен по големина. За този коефициент от (4) се определя интензитетът E_o.

Въз основа на изложения метод може да се разработи устройство за безконтактно измерване на интензитета на електростатичното поле, принципът на действие на което се състои в това, че индуктираният върху сензор заряд се подава на преобразувател на сигнал, който се усилва и регистрира от стрелкови уред.

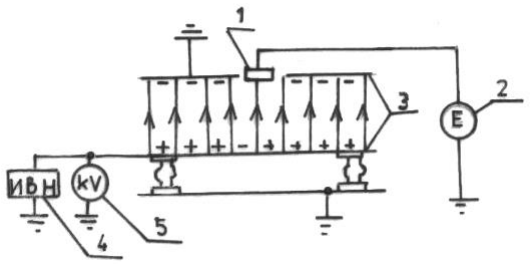
Еталонирането на уреда се извършва в хомогенно поле. Лабораторната постановка за еталониране на електрометри за определяне на интензитета по безконтактен път при плоски диелектрици се състои от плосък кондензатор с възможност за промяна на разстоянието между електродите му. Целта на еталониране на уреда е при зададено разстояние между електродите да се определи зависимостта между измерения интензитет E_E на полето и действителния E_O.

Градуировъчните характеристики на уреда се получават чрез построяване на зависимостта $E_E = k.E_O$.

Моделирането на наелектризиран диелектрик с помощта на проводяща повърхнина не позволява да се възпроизведе картината на полето от зарядите на статично електричество, тъй като повърхността на диелектрика не е еквипотенциална, обаче за практически цели такава градуировка осигурява получаването на резултати от измерванията с достатъчна точност.

Схемата на лабораторната постановка е представена на фиг. 4. Съставните елементи в нея са: 1 – сензор; 2 – електрометър; 3 – електроди на плосък кондензатор; 4 – източник на високо напрежение; 5 – киловолтметър.

При еталонирането е необходимо заземяване на металните части на постановката и на измервателния уред, а електродът, на който се подава напрежение, трябва да бъде надеждно изолиран. Необходимо условие при еталонирането е спазване на определено разстояние между сензора на уреда и изолираната метална плоча, на която се подава напрежение.



Фиг.4.

Друго важно условие е да има подобие в повърхностния контур на обекта и на металното устройство (плоча за плоските диелектрици, сфера при сферичните и т.н.).

Също така токът на късо съединение в случай на допир до изолираното метално устройство да бъде по-малък от 1 mA с оглед електробезопасността на постановката.

При еталонирането на уреда напрежението на източника се изменя в съответствие с обхвата на измервателния уред и се фиксират съответните показания на електрометъра при различни разстояния до сензора.

При наличие на изчислителни данни за стойностите на E_O, E_E и K при различни стойности на x и C_O определени по описания вече метод, не е необходимо опитно еталониране на уреда.

Големината на интензитета E_O служи за оценка на енергията на искровия разряд при определен капацитет.

Енергията $W = \frac{q_o^2}{2C_O} = \frac{(\varepsilon_o . E_O . S)^2}{2C_O}$. (10)

При измерване интензитета на движещи се заредени тела (транспортни ленти) се поставя допълнително ограничаващо условие относно времеконстантата на затихване на уреда за получаване на по-точни измервания:

$$\tau = C_V R_V \langle \frac{2\ell}{v}, \quad [3] \tag{11}$$

където C_V е входящият капацитет на уреда, F;

R_V -входното съпротивление на уреда, Ω

ℓ -ширината на лентата,m;

v -скорост на лентата, m/s.

Към доклада могат да се направят следните изводи:

1. Предлага се безконтактен метод за измерване на интензитета на електростатичното поле на заредени плоски диелектрици, като е изследвана зависимостта между измервания интензитет E_E и интензитета на полето E_O преди внасяне на сензора в него. Изследвано е влиянието на капацитета между повърхността на сензора и повърхността на заредения диелектрик C_C и на капацитета на измервателния уред C_E върху точността на измервания интензитет E_E .
2. Изведен е аналитичен израз за коефициента k в уравнение $E_E = k.E_O$. Доказано е, че този коефициент зависи, както от разпределения капацитет на заредения диелектрик спрямо земя C_O , така и от диаметъра d на сензора с кръгла форма, което пряко влияе върху точността на измервания интензитет E_E .
3. Предложена е методика за градуиране на измервателен уред за измерване на интензитета на електростатичното поле на плосък зареден диелектрик.

Литература

Максимов Б. К., В. А. Обух. *Защита от статического электричества*. М., 1982.

Илюнин К. К., Д. И. Леонтьев, Л. И. Набебина и др. *Справочник по электроизмервательным прибором*. ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, Л., 1983.

Толстопятов В. Н., В. Дядова. *Особености при измерването на нивото на статичното наелектризиране при производство на листови и рулонни материали*., Енергетика, кн. 9, 1978.

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 73-75

Особености на електризацията на диелектрични течности от преливащи магистрали в приемни резервоари и устройства за ограничаване на появилото се статично електричество

Стефан Стефанов, Иван Милев, Иван Проданов

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

РЕЗЮМЕ. В доклада се разглеждат особеностите при наелектризирането на диелектрични течности (въглеводородно гориво и др.) при преминаването им от транспортни магистрали в резервоари. Особеностите са предизвикани от обстоятелството, че всички елементи на преливащата магистрала (тръбопровод, филтър, резервоар и т.н.) са затворени метални обвивки, които от гледна точка на електростатиката, са еквивалентни на кафеза на Фарадей.
Предлагат се пасивни устройства за отстраняване на появилите се в течността заряди, преди те да са попаднали в приемните резервоари.

FEATURES OF THE INSULATING LIQUIDS ELECTRIFICATION FROM OVERWLOWING MAIN PIPELINES TO RECEIVING TANKS AND DEVICES FOR THE APPEARED STATIC ELECTRICITY ELIMINATION

ABSTRACT. The features at the insulating liquids electrification (hydrocarbon fuel, etc.) on their transition from main transport pipelines in tanks are treated in the paper.
The features are caused by the circumstance that all the elements of the overflowing main pipeline (pipe, filter, tank, etc.) represent metal coatings, which in terms of electrostatics, are equivalent to the Faraday cage.
Passive devices for elimination of the charges appeared in the liquids before their fall into the receiving tanks are offered=

При преминаване на диелектрични течности (въглеводородно гориво) в резервоари може да се натрупа електрически заряд с такава стойност, че при достатъчно висок потенциал да предизвика електрически разряд на повърхността на горивото. Предизвиканата от него искра при определено съотношение на парите на горивото с въздуха в мястото на разряда е способна да предизвика възпламеняване. Появата на заряди в горивото при неговото преливане е следствие на триенето на диелектричната течност в стените на елементите на магистралата: филтър, тръбопровод и др. Широко препоръчваният метод за отстраняване на електростатичните заряди чрез заземяване в дадения случай не дава необходимия ефект, тъй като всички елементи на преливащата магистрала (тръбопровод, филтър, резервоар и т.н.) са затворени метални обвивки. Те от гледна точка на електростатиката са еквивалентни на кафеза на Фарадей, при който ако в кафеза се внесе определен заряд, например заредена метална сфера със заряд Q_1, върху вътрешната повърхност на кафеза се индуктира равен по големина и обратен по знак заряд Q_2. Това предизвиква появата на заряд Q_3 по външната повърхност на кафеза, който е еднакъв както по знак, така и по големина с внесения заряд Q_1, т.е.

$$|+Q_1| = |-Q_2| = |+Q_3| .$$

При преминаване на диелектрични течности по магистралите са налице и трите вида заряди. Първичният заряд Q_1 в движещото се гориво се появява вследствие на откъсналите се от хидродинамичните сили на потока заряди от дифузионната част на двойния електрически слой, образуван на границата твърда фаза – течност. Те представляват най-голямата опасност от предизвикване на искра над повърхността на горивото.

Вторичните заряди Q_2 и Q_3 възникват на вътрешната и външната страна на стената на съда, корпуса на филтъра или тръбопровода вследствие на индукцията на първичния заряд Q_1. Чрез заземяване може да се неутрализира само зарядът Q_3, който съгласно със законите на електростатиката не оказва влияние върху вътрешните заряди Q_1 и Q_2. Те са свързани помежду си с електрическо поле вътре в съда и тяхната взаимна неутрализация зависи от времето на релаксация на дадената течност, което се определя с израза [1 ,2]:

$$\tau = \varepsilon_r \varepsilon_0 \rho, \quad s, \tag{1}$$

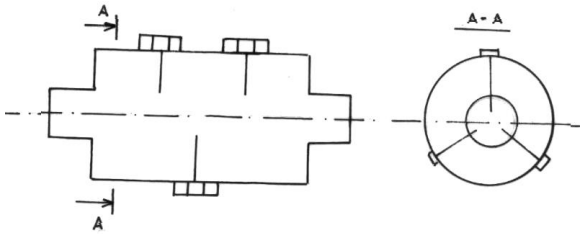
където ε_r е относителната диелектрична проницаемост на горивото, ε_o е абсолютната диелектрична проницаемост на вакуума, а ρ е специфичното обемно съпротивление на горивото.

От (1) следва, че времето на релаксация не зависи от размерите на резервоара. Върху стената на резервоара и на повърхността на горивото практически мигновено се индуктират заряди, а в течността интензивността на натрупването им е ограничена заради процеса на релаксация. С това се обяснява резкият скок на потенциала в първоначалния етап на запълване на резервоара, при което е налице и най-голямата опасност от възпламеняване на горивото.

Ако скоростта на натрупване на зарядите, зависеща от скоростта на подаване на горивото е по-голяма от скоростта на релаксация, зарядът в горивото нараства и обратно. Ако тези скорости са еднакви, настъпва динамично равновесие между зарядите, постъпващи в резервоара и тези, неутрализирали се вследствие на релаксацията. При достатъчно висока скорост на постъпване на горивото в резервоара е възможно нарастване на обемната плътност на зарядите до опасна стойност. На всяка определена скорост на зареждане на конкретното гориво съответства определен потенциал от натрупаните в него заряди. Следва да се отбележи, че при заземяването на всеки елемент от зареждащата система става преразпределение на електрическото поле вследствие на изменението на взаимните капацитети между зареденото гориво и стените на съда, както и между отделните елементи на магистралата и земя. Изменението на взаимния капацитет довежда до изменение на разликата на потенциалите между горивото и стената на съда, от което зависи дисоциацията на молекулите на течността. Това води до изменение на проводимостта на горивото, а оттам и до изменение на времето за релаксация. Колкото е по-голяма проводимостта на горивото, толкова времето на релаксация е по-малко. Проводимостта на горивото е променлива величина и зависи от обемната плътност на зарядите в него. Най-голяма склонност към електризация и съхраняване на заряда от статично електричество притежават течности с електропроводимост $1{,}0-20\ nS$. Такава електропроводимост имат болшинството от нефтопродуктите и другите въглеводороди.

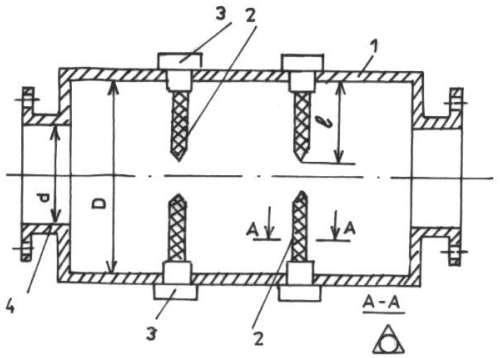
Неутрализация на зарядите в определен резервоар се извършва вследствие на тяхната релаксация, т.е. всеки заряд се неутрализира при контакта със своя антипод, появил се по-рано от същите тези заряди на вътрешната стена на резервоара.

Изясняването на физическата същност на процеса на образуване и натрупване на заряди в движещо се гориво позволява да се предложи метод за тяхната неутрализация с помощта на устройства, които се включват в магистралата за зареждане. Това са различни конструкции индукционни неутрализатори за течности, елиминиращи обемните заряди.



Фиг. 1.

На фиг. 1 е показан индукционен неутрализатор, който представлява метален цилиндър с радиално разположени игловидни електроди, отместени един спрямо друг във всяко сечение на цилиндъра на 120° [3].



Фиг. 2.

Подобна конструкция е показана и на фиг. 2 [4]. Неутрализаторът се състои от неутрализационна камера 1 с диаметър D, разрядни електроди 2 с дължина ℓ, възел за закрепване на електродите 3 и входна тръба 4 с диаметър d. Вътрешната стена на камерата на неутрализатора е изпълнена от електропроводим материал, при това диаметърът на камерата D е по-голям от диаметъра на входната тръба d не по-малко от 2 пъти.

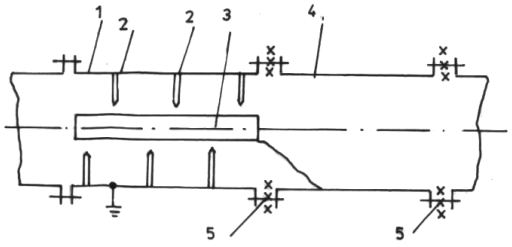
Основните размери на неутрализатора се подчиняват на съотношенията:

$$d\langle D \text{ и } \ell = \frac{D-d}{2}, \qquad (2)$$

при което се реализира висок интензитет на електростатичното поле при върховете на разрядните електроди.

Остатъчният заряд на течността след преминаване покрай електродната област почти напълно релаксира в обема на неутрализационната камера, тъй като скоростта на движение на течността е намалена.

В доклада се предлагат две устройства с повишена ефективност, в сравнение с ефективността на обикновените обемни индукционни неутрализатори, показани на фиг. 1 и фиг. 2.



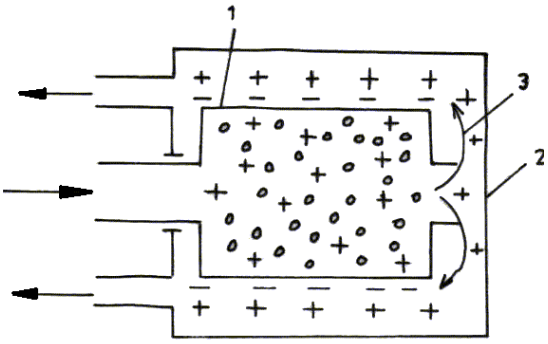
Фиг. 3.

На фиг. 3 е представена конструктивна схема на индукционен обемен неутрализатор на статичното електричество с повишена ефективност. Той се състои от корпус 1, игловидни електроди 2, допълнителен електрод - пръчка 3 и накрайник 4. Електродът 3 електрически е съединен с накрайника 4, който е изолиран от заземения корпус 1 посредством фланци от електроизолационен материал 5.

При движение на заредена течност по тръбопровода, вътре в накрайника се натрупва заряд с такъв знак, какъвто е този на нефтопродукта. Посоченият заряд, а също така и пълният обемен електрически заряд на течността в

накрайника, предизвикват повишаване на потенциала на този участък, а следователно и на допълнителния електрод. Под действие на разликата в потенциалите между допълнителния електрод и игловидните електроди възниква ефектът корона, внасящ в обема на течността заряди с противоположен по отношение на заряда на течността знак. При това потенциалът на системата допълнителен електрод – накрайник се повишава дотогава, докато в накрайника съществува заряд и съответно докато става релаксация и натрупване на заряди в него. Съответно нараства токът през игловидните електроди дотогава, докато сумарният заряд вътре в накрайника не стане равен на нула. По нататъшното повишаване на потенциала се прекратява, като зарядът на изхода на неутрализатора напълно се анулира.

На фиг. 4 е представена конструкция на неутрализатор тип – елиминиращо устройство с филтър. Неутрализаторът се състои от филтър 1 поставен вътре в корпуса 2 на устройство. Посоката на движение на течността в устройството е показана със стрелките 3. Корпусът на филтъра е изготвен от проводящ материал и е изолиран от корпуса на неутрализатора. Входният и изходният отвори на филтъра са съосни и са разположени по оста на корпуса. Входната и изходната наставки на неутрализатора са разположени от една и съща страна.



Фиг. 4.

При преминаване на течността през филтриращата преграда, тя придобива заряд от статично електричество с определен знак, а външната повърхност на корпуса на филтъра се зарежда със заряд с противоположен знак. Благодарение на предложеното конструктивно изпълнение на устройство, преминаващата през филтъра течност олива външната повърхност на неговия корпус. При взаимодействие на преминалата през филтъра течност, съдържаща заряди с противоположен знак по отношение на зарядите на повърхността на филтъра, се извършва неутрализация.

Характерно предимство на предлаганото устройство е това, че степента на електризация се понижава и от намаляването на скоростта на течността на изхода на филтъра.

Към доклада могат да се направят следните изводи:

1. Анализирана е физическата същност на процеса на образуване и натрупване на заряди при движение на диелектрична течност (гориво) по магистралата филтър, тръбопровод и др., въз основа на съпоставка с процесите в кафеза на Фарадей.
2. Предложена е конструкция на обемен индукционен неутрализатор с повишена ефективност чрез внасяне на допълнителен електрод в обема на неутрализатора.
3. Предложена е възможно най-опростената конструкция на обемен неутрализатор с използване на филтър, при който се намалява скоростта на диелектричната течност и се увеличава времето за релаксация. С това значително се подобрява ефективността в сравнение с тази на обикновените неутрализатори.

Литература

Попов Б. Г., В. Н. Веревкин, В. А. Бондарь, В. И. Горшков. *Статическое электричество в химической промышленности*, Изд. “Химия”, Л., 1977.

Стройни Ян. *Статично електричество*, Изд. “Техтика”, С., 1981.

Войчаускас П. В. *Устройство для нейтрализации заредов статического электричества*, Авт. св. № 853833, СССР, 1981.

Обух А. А., Б. К. Максимов, М. И. Зубов, И. П. Орехов и др. *Нейтрализатор заредов статического электричества в жидкости*. Авт. св.№ 599379, СССР, 1978.

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 77-80

Едно нетрадиционно решение за управление на реактивната енергия в рудник "Елаците"

Иван Стоилов[1], Кирил Джустров[1], Менто Ментешев[2]

[1] Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски" 1700 София
[3] "СМС - С" ЕООД 1164 София

РЕЗЮМЕ. Разработена е система за автоматично управление на реактивните товари. Чрез оптимално регулиране на кондензаторни мощности, предприятието като консуматор се вмества в рамките на полагаемата му се реактивна енергия и се изключват санкции за върната в системата реактивна енергия.

Предложен е комбиниран метод за управление на компенсиращите мощности. Те са изградени централно в Главната подстанция. Управлението им е във функция от включването на отделни мощни консуматори – цех "Едро трошене" и магистралната ГТЛ. Така се реализират основните предимства на местната компенсация при минимални капиталовложения. Управлението на компенсиращите мощности се извършва и в зависимост от средната стойност на фактора на мощността, изчислена от началото на текущия месец, т. е. по средномесечния cos φ. Това е предпоставка и за значително намаляване на броя на комутационните цикли.

Кондензаторната батерия се състои от три секции, управлявани от програмен модул - елемент във внедрената през 2003 година Микропроцесорна система за контрол и управление на разхода на електрическа енергия. Структурата за програмния модул позволява лесно въвеждане и коригиране на всички константи, определящи работата му.

За комутиране на секциите на кондензаторната батерия са модернизирани три броя КРУ със елегазови контактори в комбинация с токоограничаващи предпазители на фирмата Schneider Electric. Това решение осигурява необходимия ресурс на комутационния апарат и ефикасна защита от къси съединения.

A NON-TRADITIONAL DECISION FOR CONTROL OF REACTIVE POWER AT THE ELATSITE MINE

ABSTRACT. A system for automatic reactive energy compensation is developed. A system for optimum regulation of capacitor power is applied and the company as a consumer falls within the allowed reactive power consumption and thus the sanction for reactive power, returned back in the system is avoided.

A combined method for compensating power is suggested. Compensating power is centralized in the Main substation. Its control is a function of the inclusion of separate high-power consumers – "Coarse crushing" department and main Conveyer Belt. Thus the main advantages of local compensation are achieved at minimum investment. Control of compensating power is performed depending on the average value of the factor of power, calculated from the beginning of the current month, i.e. the month-average cos φ. This is a precondition for reasonable reduction of commutation cycles.

The capacitor banks consists of three sections, controlled by a programmable module – an element commissioned in 2003 – a micro-processing system for control of power consumption. The structure of the programmable module allows easy introduction and correction of all the constants, defining its operation.

Three switchgears with Rollarc contactors in a combination of current limitation fuses of the Schneider Electric company are upgraded for the commutation of the sections of capacitor banks. That provides the needed resource of the commutation apparatus and effective protection from short circuits.

Въведение

Рудник "Елаците" добива годишно над 12 милиона тона медна руда. Едрото трошене на рудата се осъществява с руски трошачки тип ККД, КРД и шведска трошачка тип "Алис" с мощност на двигателите 500 kW. Натрошената руда класа 0-200 mm по гумено-транспортна лента с дължина 7 km, задвижвана от два двигателя с мощност 500 kW постъпва в открит склад над цеха за средно и ситно трошене в обогатителната фабрикана "Елаците-мед" АД – с. Мирково.

Основните консуматори на електроенергия в рудника са гумено-транспортната лента (ГТЛ) – 31 %, корпуса едро трошене (КЕТ) – 30 %, електрическите багери и сонди в рудника – 18 %, помпена станция – 6 % и спомагателни цехове – общо 15 %. Характерът на електрическия товар, измерен на Главната понизителна подстанция е рязко променлив, главно поради променливото натоварване на трошачките и багерите. Средната мощност за отделните тарифни зони е в границите 300÷2900 kW. Компенсирането на реактивната енергия се извършва ръчно от дежурния персонал чрез комутиране с маломаслени прекъсвачи на две секции на кондензаторна батерия, съответно 1650 kVAr и 750 kVAr. Броя на комутациите за денонощие е средно 20-26 включвания и изключвания. За преценка на необходимата за момента кондензаторна мощност персонала се ориентира по консумираната обща активна мощност от подстанцията.

"Елаците-мед" АД е в списъка на привилегированите потребители на НЕК. Договорите за часовата консумация на електроенергия се сключват с НЕК-ЕТО за цялото предприятие. В края на 2003 г. е разработена и внедрена в експлоатация в ГПП 110/6 kV в рудник Елаците микропроцесорна система за контрол и управление на електропотреблението, с програмен модул, работещ в режим "Съветник на диспечера" с оглед спазване на договорената с НЕК часова консумация на електроенергия [1]. В тази система е предвиден и модул за автоматично компенсиране на реактивните товари.

Избор на метод за компенсиране на реактивната енергия

Изборът на метод за компенсиране най-общо зависи от характера на товара, разпределителната мрежа СрН на предприятието, политиката на дистрибуторите на елект-

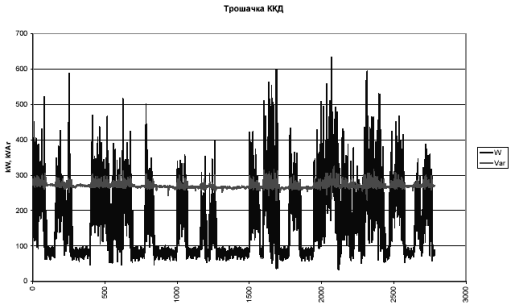
рическа енергия по отношение на консумацията на реактивна енергия.

У нас се прилагат основно следните видове компенсиране:

- с кондензаторни батерии в мрежите средно напрежение, като кондензаторните батерии се инсталират в главните понизителни подстанции (обикновено в точката на присъединяване на предприятието към енергийния пръстен на страната)
- кондензаторни батерии за средно напрежение, монтирани в разпределителни и цехови подстанции
- кондензаторни батерии 6кV в близост до мощни двигатели с общ или отделен комутационен апарат
- кондензаторни батерии за ниско напрежение – обикновено монтирани в ГТНН и в цехови разпределителни табла

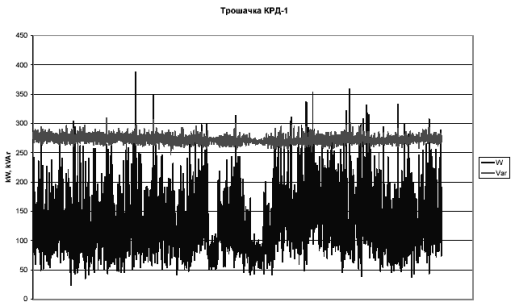
За автоматичното управление на кондензаторните мощности голям брой фирми предлагат микропроцесорни регулатори, но те са намерили практическо приложение главно в мрежите ниско напрежение.

За определяне на най-подходящия метод за компенсиране на реактивните товари на р-к "Елаците" бяха проведени измервания на активната и реактивната мощност.



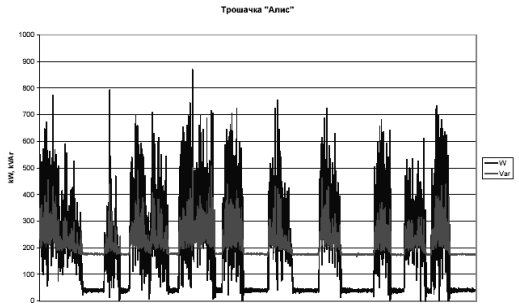
Фиг. 1.

Измерванията се извършиха с микропроцесорен уред "MULTIVER-3SN" с честота на сканиране – 1 s. Определено е изменението на мощностите за трошачките, ГТЛ и общия товар на рудника. На фиг. 1 е илюстрирано изменението на активната и реактивната мощност на двигателя на трошачка ККД. Активната мощност е със силно променлив характер, изменя се в голям диапазон, а реактивната мощност се запазва почти неизменна. Същия характер на товара се наблюдава и при трошачката КРД-1 – фиг. 2. При трошачката "Алис" черпената реактивна мощност е по-малка в сравнение с трошачките ККД и КРД. Увеличението на реактивната мощност при увеличаване на натоварването е значително по-голямо в сравнение с трошачките ККД и КРД (фиг. 3).



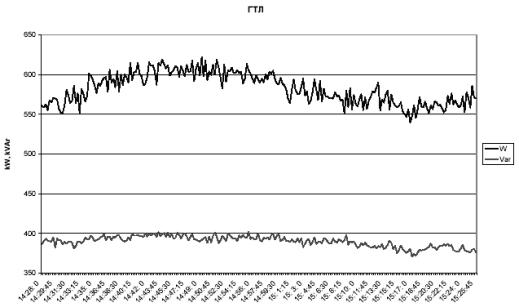
Фиг. 2.

Технологичния режим на работа на корпуса за едро трошене изключва възможността за едновременна работа на руските трошачки и трошачката "Алис".



Фиг. 3.

ГТЛ има сравнително постоянен товар и изменението на реактивната мощност е в тесни граници (фиг. 4).



Фиг. 4.

Анализът на резултатите от експерименталните изследвания и проведените ориентировъчни изчисления водят до следните изводи:

1. Черпената реактивна мощност от двигателите на трошачките е относително постоянна и може да бъде детерминирана в зависимост от технологичния режим на работа.

2. Реактивната мощност за двигателите на ГТЛ се колебае в тясни граници и може да се приеме за еднозначно определена.

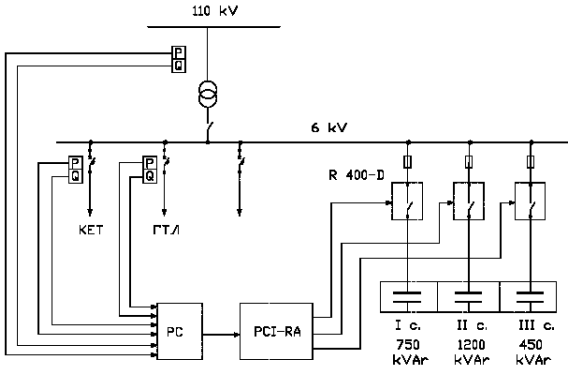
3. Загубите на активна мощност за пренасяне на реактивна мощност в разпределителната мрежа 6 кV от ГПП до КЕТ и ГТЛ са несъществени поради големите сечения и сравнителна късите разстояния.

На тази база е възприет метод за компенсиране на реактивните товари в р-к "Елаците", съчетаващ индивидуалната компенсация на основните консуматори с минималните капиталовложения при централизирано изграждане на кондензаторната батерия. Управлението на секциите се извършва от програмен модул на микропроцесорната система. При работа на големите консуматори в рудника (КЕТ и ГТЛ) се включват секции на КБ които да компенсират напълно реактивните товари на съответните консуматори и реактивния товар на трансформатора 110/6 кV.

Алгоритъм за управление на кондензаторните мощности

На фиг. 5 е дадена опростена схема, илюстрираща работата на модула за компенсиране на реактивните товари.

Съчетана е индивидуалната компенсация на мощните консуматори с централизирано изграждане на секциите на кондензаторната батерия – в ОРУ на ГПП 110/6 kV.



Фиг. 5.

Основните принципи на които е изграден алгоритъма за управление са следните:

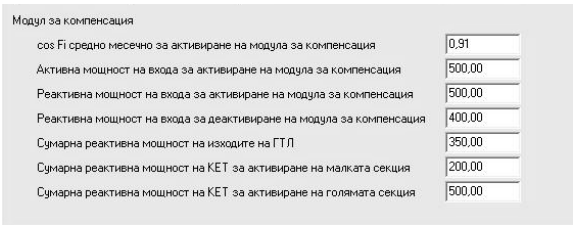
- да не се допуска връщане на реактивна енергия в енергийната система
- да не се изразходва (и съответно заплаща) реактивна енергия повече от полагаемата се през върховата и дневната тарифна зона ($\cos\varphi \geq 0{,}9$)
- по време на нощната тарифна зона кондензаторната батерия да бъде изключена

От експерименталните изследвания са определени мощностите на отделните секции на кондензаторната батерия: I секция – 750 kVAr, II секция – 1200 kVAr, III секция – 450 kVAr.

За ГТЛ компенсиращата мощност е еднозначно определена – 750 kVAr. За КЕТ поради характера на технологичния режим на работа се налага компенсацията да се извършва с две степени – с малка кондензаторна мощност – 450 kVAr при работа на трошачката "Алис" и със значително по-голяма – 1200 kVAr при работа на трошачките ККД и КРД. Информация за работата на ГТЛ и КЕТ микропроцесорната система получава от преобразуваталите на активна (P) и реактивна мощност Q монтирани на изводите в подстанцията.

Компенсирането на реактивния товар общо за рудника се извършва чрез комутиране на свободната секция – втора или трета. В алгоритъмът за управление участвуват текущите стойности на активната и реактивната мощностна страна 110 kV, отчита се мощността на секцията, която предстои да бъде включена, времезакъснения при включване и изключване. Въведено е едно удачно според нас ограничително условие: Компенсирането се извършва само ако средния $\cos\varphi$ от началото на текущия месец е под стойността, фиксирана в менюто за настройка (обикновено $\cos\varphi = 0{,}91$). По този начин се ограничават броя на комутациите и не се заплаща за консумирана наднормена реактивна енергия. Управлението на този модул изключва възможността за връщане на реактивна енергия в енергийната система и се избягва тежката санкция на НЕК.

Програмният модул е разработен така, че позволява лесно въвеждане и промяна на работните параметри – гранични стойности на реактивните мощности, времезакъснения при включване, времезакъснения при изключване – фиг. 6.



Фиг. 6.

В зависимост от постъпилата информация от преобразувателите на активна и реактивна мощност на изводите за ГТЛ и КЕТ и на входа на 110kV, микропроцесорната система изработва сигнал към модула с релейни изходи "PCI-RA", който управлява комутационните апарати на отделните секции.

Апаратна част

Комутирането на кондензаторните батерии на средно напрежение предявява много тежки изисквания към комутационните апарати. Протичащите преходни процеси с честото 300 до 1000 Hz и пикови стойности на тока – 10 до 30 пъти от номиналния ток на кондензаторната батерия водят до бързо износване на контактната система [2]. Проблемите се утежняват значително в нашия случай, когато се комутират няколко секции на кондензаторни батерии, разположени в непосредствена близост. Изчислителни проверки е трудно да бъдат направени, поради липса на данни за индуктивностите на връзките между апаратите и кондензаторните батерии и между отделните секции.

Предложеният от нас вариант е комплектните разпределителни устройства за кондензаторните батерии да бъдат обзаведени с елегазов контактор ROLLARC R400D с вградена касета от токоограничаващи предпазители на фирмата Merlen Gerin. Мотивите за избора са следните:

- Изпълнява се изискването за защита на кондензатори с напрежение над 1000V да се употребяват предпазители, ограничаващи тока на късо съединение. Избраните предпазители FUSARC CE изгарят за време по-малко от 5 ms, ограничават моментната стойност на тока и след това подават команда за изключване на контактора [3].
- Елегазовият контактор ROLLARC R400D гарантира многократно (5 до 10) пъти по-голям брой комутационни цикли от мощностните прекъсвачи [2]. Това обстоятелство е изключително важно при автоматично регулиране на $\cos\varphi$ чрез комутиране на кондензаторни батерии.
- Допустимата честота на комутиране на контакторите е по-голяма от тази на прекъсвачите.
- Елегазовите контактори за средно напрежение предопределят по-малки комутационни пренапрежения.
- Непрекъснато се контролира налягането на елегаза в камерите на контактора.

Кондензаторите от които са изградени секциите на батерията са производство на Република Чехия и отговарят на IEC 871-1, с мощност 50 kVAr, тип CUAFS21-6,3/50 BIL 28/75.

Преустройството на количките на българските КРУ, монтажа и наладката се извършват от специалисти на фирмата СМС-С ЕООД. Предстои въвеждане в експлоатация на три броя КРУ за автоматично управление на кондензаторните батерии в ГПП 110/6 kV в р-к "Елаците".

Заключение

Предложеното решение за автоматично компенсиране на реактивните товари в р-к "Елаците" се характеризира със съчетаването на предимствата на индивидуална компенсация и ниските капиталовложения при централизирано разположение на кондензаторната батерия. Управлението на секциите на кондензаторната батерия е във функция от работата на основните консуматори, а батерията е изградена централно в ОРУ на ГПП 110/6 kV. Разходите за строително-монтажни работи са минимизирани, тъй като е изградена само трета секция към съществуващите две.

Разработената микропроцесорна система дава широки възможности за коригиране на въведените условия за работа. Корекциите се извършват без промяна в програмата, което я прави много гъвкава и адаптивна при въвеждането й в експлоатация.

Литература

Стоилов Ив., К. Джустров, А. Трапов, М. Ментешев. *Контрол и управление на разходите за електрическа енергия на привилегирован потребител на НЕК*. Сп. "Минно дело и геология" № 5, 2004 г.

Koch Denis. *Control equipment for MV capacitor banks* – Cahier Jechnique Merlim Gerin n° 142.

Schneider Electric – *Rollarc R400-R400D contactor 1 to 12 kV*, REF ACO0226/3E, 1998.

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 81-85

Оптимизация на релейните защити в електрическите уредби 6 kV на Челопеч Майнинг АД

Иван Стоилов[1], Кирил Джустров[1], Менто Ментешев[2]

[1] Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София
[2] "СМС - С" ЕООД, 1164 София

РЕЗЮМЕ. В Челопеч Майнинг АД 98,5% от използваните защити в електрическите уредби 6 kV са микропроцесорни и тяхното оптимално използване повишава надежността на електроснабдяването.
Оптимизацията на релейните защити в електрическите уредби включва: целесъобразни промени в позиционирането на различните по предназначение микропроцесорни защити от серии SEPAM 1000, SEPAM 2000 и VIP 201; осъществяване на ефективна вертикална и хоризонтална селективност; максимално използване на техните възможности;
Параметрите, характеризиращи настройките на защитите са определени на базата на данни, получени чрез моделиране на електрическата уредба и на експериментални изследвания за основните величини, характеризиращи пусковите процеси на двигатели, трансформатори и фидери.
Обхванат е широк спектър от защити.

OPTIMIZATION OF RELAY PROTECTION AT THE 6 KV ELECTRICAL INSTALLATIONS AT THE CHELOPECH MINING AD
ABSTRCT. At the Chelopech Mining AD 98,5% of the protections applied to 6kV electrical installations are micro-processing protections and their optimum use improves reliability of power supply.
The optimization of relay protections of electric installations requires changes in the positioning of micro-processing protections of the series SEPAM 1000, SEPAM 2000 and VIP 201 of different designation; performing of effective vertical and horizontal selectivity, maximum utilization of their functions.
Parameters, characterizing the settings of protections are determined on the basiis of data, obtained by modeling of the electrical installation and experimental investigations for the major values, characterizing the starting (switching) processes of motors, transformers and feeders.
A wide range of protections is discussed.

Определянето и изпълнението на оптимални настройки на релейните защити в електрически уредби на Челопеч Майнинг АД трябваше да реши проблема с неселективните изключвания на защитите, в резултат на които при възникнал ненормален режим, например късо съединение, се изключват изправни изводи, много често и цялото захранване от трансформаторите 110/6 kV.

За определяне на оптималните настройки на защитите се приложи съвременен комплексен подход:

- Моделиране на електрическата уредба 6 kV за точно определяне параметрите на токовете на късо съединение – еднофазни, двуфазни и трифазни;
- Експериментално определяне на параметрите на пусковите процеси /ток, напрежение, продължителност/ на двигатели 6 kV, трансформатори 6/0,4 kV и фидери.

Математическото моделиране и анализът на установените и преходните процеси в електрически уредби 6 kV, наложи актуализация на съществуващите еднолинейни схеми и параметрите на комутационните апарати и защити.

От общо 10 двигателя с напрежение 6kV, 4 броя са синхронни, а от 6 асинхронни двигателя – един е с навит ротор.

Понижаващите трансформатори СрН/НН са 41, вторичното напрежение е 0,4 kV с изключение на 2 трансформатора, които са с вторично напрежение 1,0 kV и един с 660 V.

Челопеч Майнинг е от малкото предприятия в страната с висок процент на съвременни защити в разпределителните мрежи и за двигателите 6 kV. Успешно са приложени микропроцесорни защити на Merlin Gerin – Sepam 2000 – 32 бр. и SEPAM 1000-7 бр. - в подстанциите с оперативно напрежение и VIP - 9 бр. - в подстанциите без оперативно напрежение.

Защитите с електромеханични релета имат ограничено приложение. Те са монтирани в КРУ с маломаслени прекъсвачи.

Многофункционалните микропроцесорни защити обхващат 96,8 % от обектите за защита, докато електромеханичните – само 3,2 %. Следователно съществуват обективни условия за осъществяване на оптимални по чувствителност и бързодействие защити с широк спектър от функции.

Изчислителни режими

Изчисленията на токовете на късо съединение са извършени за два режима – максимален и минимален.

Получените резултати за ток на късо съединение при максимален режим са използвани основно за отстройка на релейните защити от свръхпреходния ток на трифазно к.с. и за проверка на кабелите по термична устойчивост.

Изчисленията при минимален режим са използвани за проверка на коефициента на чувствителност от установената стойност на тока на двуфазно к.с.

Максимален режим

Разглеждания режим се характеризира със следното:

- Захранването на шини 6 kV се осъществява от един трансформатор 110/6 kV, присъединен на страна 110 kV към източника, за който мощността на к.с. е по-голяма – ввод "Чавдарци";

- На страна 6 kV към трансформатора са включени двете секции на ЦРП, от които се захранват секциите на останалите подстанции;
- Включени са всички двигатели, присъединени на страна 6 kV към секциите на разглежданите подстанции;
- Включени са двигатели на страна 0,4 kV към някои от трансформаторите 6/0,4 kV, където двигателният товар е съществен.

Минимален режим

За изчисляване на токовете на к.с. в минимален режим се взема предвид следното:

- Захранването на шини 6 kV се осъществява от един трансформатор 110/6 kV, присъединен на страна 110 kV към източника, за който мощността на к.с. е по-малка – въвод "Гълъбец";
- Двигателите не се изключват. Използвани са резултатите от изчисленията при установен режим, където тяхното участие при определяне на токовете на к.с. не се отчита.

Изчислителни модели за определяне на токовете на късо съединение.

- Моделите са конфигурирани на базата на изчислителната програма Procal, разработена в EdF, в съответствие с изискванията на IEC 909.
- Характерните особености при моделирането са следните:
- Моделирани са минималния брой елементи (трансформатори, двигатели), участващи в посочените по-горе режими;
- Къси участъци от кабели, присъединени към дълги въздушни електропроводи, са въведени към въздушния електропровод към който са свързани, като са използвани реалните им параметри;
- Всички кабелни електропроводи са моделирани с параметри, съобразно техния тип (сечение, изолация, материал), начин на полагане и дължина;

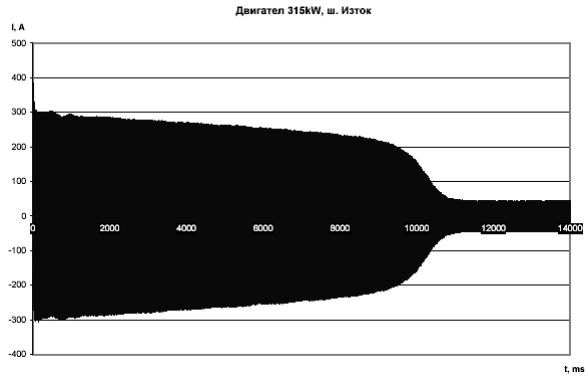
Резултатите от изчисленията са показани в табличен вид, поотделно за всеки от разглежданите режими. Те включват резултати за токовете на трифазни к.с. и тяхното разпределение за всички възли от схемата.

Експериментални изследвания

В съответствие с възприетата методика за определяне на параметрите на пусковите процеси на електрическите машини – двигатели и трансформатори в уредбите 6 kV, като необходимо условие за точно определяне на настройките на защитите са проведени измервания. Използван е микропроцесорен апарат MULTIVER, измерващ моментни стойности през 0,5 ms, позволяващ да се получат данни характеризиращи апериодичните и периодичните съставни на тока при пускане /включване/ във функция от времето.

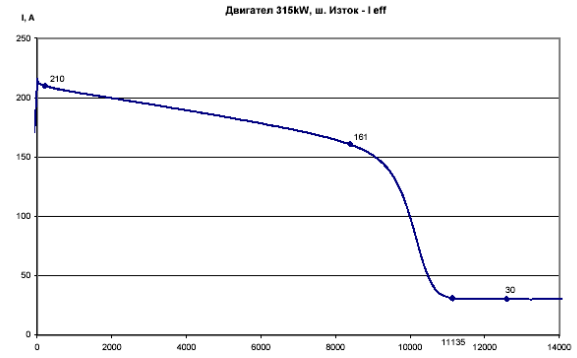
Преходни процеси при пускане на двигателите с напрежение 6 kV

Проведени са измервания на статорните токове на двигателите 6 kV с продължителност от 4 до 26 s, време достатъчно да приключи преходния процес и да се установи тока през двигателя.



Фиг. 1.

Приложени са записите с моментните (фиг.1) и с ефективните стойности на токовете (фиг. 2), измерени при включване на 9 различни двигатели и задвижвания.



Фиг. 2.

Времената, за които протичат пусковите процеси се лимитират и от характеристиката на задвижваната машина: най-продължителни са пусковите процеси при вентилаторите ш. Север – 5,21 s, ш. Изток 11,2 s. Най-кратки са времената за пускане на помпите от 1,0 до 1,6 s.

Резултатите се използват при изчисляване на токовите защити.

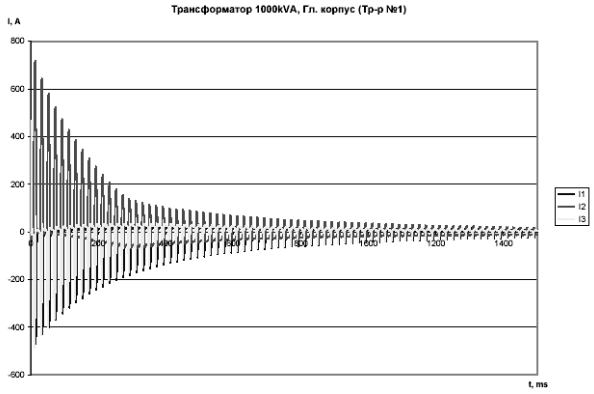
Преходни процеси при включване на трансформаторите 6/0,4 kV

Изборът на трансформаторите, за които е изследван тока на включване е направен по два критерия:

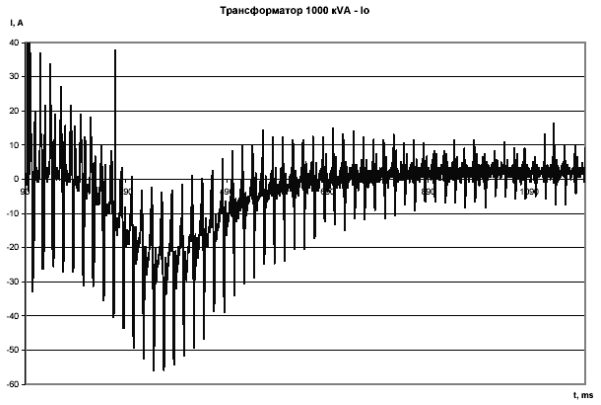
- Трансформаторът/ите да се защитават от SEPAM;
- Да бъдат представителни по мощност;

Резултат от измерванията е илюстриран на фиг. 3, в която са показани моментните стойности на токовете при включване.

Както се вижда от приложената осцилограма (фиг. 4), поради несиметрията в токовете на трите фази в преходния процес на включване се генерира, в някои случаи значителен ток с нулева последователност $I_{ов}$. Той е най-голям в Тр. 1000 kVA и в Тр. 400 kVA и е относително най-малък при включване на групата трансформатори към извод за подземния рудник. С този ток, съществуващ от 0,6 до 2 s е съобразена настройката на защитата от земни съединения.



Фиг. 3.



Фиг. 4.

Продължителността на преходния процес $T_в$ при включване на трансформаторите се променя в границите от 1,4 s до 2,0 s, а на тока с нулева последователност $I_{ов}$ - от 0,6 до 2 s.

Защити

Определянето на настройките на релейните защити е извършено въз основа на:

- паспортните данни на съоръженията;
- изчислените с помощта на математическия модел на мрежата токове на к. с. при максимален и минимален режими;
- резултати от експериментално регистриране на пускови процеси на двигатели и включване на празен ход на трансформатори;

При определяне на настройките са използван характерните за цифрови релейни защити стойности на коефициентите на сигурност ($K_с$), на възвръщане ($K_в$), както и регламентираните от българските правилници коефициенти на чувствителност ($K_ч$) и др.

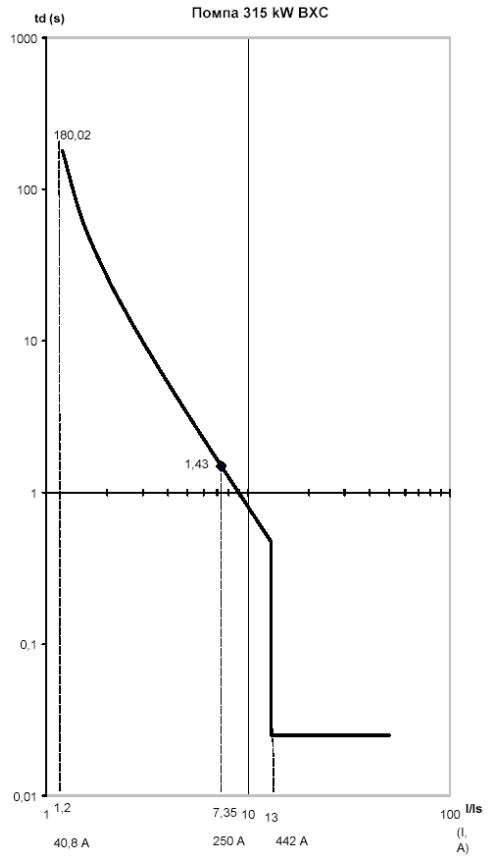
Токови защити

1. Защита на двигатели

Определени са настройките на следните защити:

- токова отсечка (ТО) – отстройва се от пусковия ток на двигателя с коефициент $к_с$ = 1,5. За пусков ток на двигателя се приема по-голямата стойност при сравняване на каталожните данни с тези от експерименталните изследвания. Въведено е минимално време на заработване $t_{зр}$ = (0,025 ÷ 0,050)s. Чувствителността е проверена с тока на двуфазно късо съединение в минимален режим.
- Максимално-токова защита с независимо от тока закъснение (МТЗ). Настройва се по номиналния ток на двигателя. Коефициентът на сигурност е приет $к_с$ = 1,2, а коефициентът на възвръщане кв = 0,888. Времето на заработване е определено от експерименталните данни с коефициент на сигурност кс = 1,3.
- Максимално-токова защита с зависимо от тока закъснение (IT).

При двигатели с продължителен пусков процес МТЗ с инверсна характеристика може да осигури известни предимства.



Фиг. 5.

Използването ѝ е наложително, когато техническите параметри на защитата (напр. VIP201) не позволяват да се настрои време на заработване по-голямо от продължителността на пусковия процес. В този случай защитата се настройва при условието – избраният вид инверсна характеристика да премине през точка с координати $I=I_{пуск}$ и $t=1,3.t_{пуск}$. При повреда, съпроводена с ток на късо съединение в границите на заработване на токовата отсечка, защитата заработва с време по-малко от това при МТЗ с независимо закъснение. При подходящо подбрана инверсна характеристика успешно се реализира защита от претоварване на двигателите (фиг. 5).

- *Защити от претоварване*

Сериозен проблем за ефективната работа на тези защити е липсата на достоверни данни за топлинните времеконстанти на нагряване и на охлаждане. Въведените времеконстанти са определени приблизително, на базата на

експертни оценки и практическия опит от експлоатацията на машините. Препоръчително е да се проведат изследвания за определяне на топлинните времеконстанти като необходимо условие за въвеждане на ефективна защита от прегряване – съществена предпоставка срещу "изгарянето" на двигателя, пренавиването на който изисква значителни средства.

2. Защити на трансформатори

За трансформаторите са предвидени: токова отсечка без закъснение и МТЗ с независимо от тока времезакъснение.

Токовата отсечка защитава захранващия кабел и частично трансформатора.

Максималнотоковата защита защитава изцяло трансформатора и шинната система 0,4 kV и резервира действието на автоматичните прекъсвачи към нея.

Токовата отсечка се отстройва с коефициентът на сигурност $к_с$ = 1,2 от свръхпреходния ток на късо съединение в максимален режим на шини 0,4 kV. Времето на заработване е минимално – 0,05s. Чувствителността на ТО се определя спрямо тока на двуфазно късо съединение в минимален режим на шини 6kV на трансформатора. Токовата отсечка се проверява при следните условия:

- включване на трансформатора на празен ход
- пускане на най-мощния двигател от страна на ниско напрежение при работещи всички останали двигатели
- Максималнотокова защита се настройва се по номиналния ток на трансформатора с коефициентът на сигурност $к_с$ = 1,2. Чувствителността се определя спрямо трайния ток на късо съединение на шини 0,4 kV.

3. Защита на фидери

За защита на фидерите и захранваните от тях шини могат да бъдат използвани токови отсечки с минимално време на заработване – 0,05s, токова отсечка със закъснение и максималнотокова защита.

- Токова отсечка с време 0,05 s може да се реализира само за част от фидерите. За повечето от тях разликата между свръхпреходния ток на к.с. в максимален режим в края на фидера и токът на двуфазно к.с. в минимален режим в началото му е много малка. Това не позволява да се настрои ТО без време.
- *Токова отсечка с времезакъснение*

Тази защита обхваща целия фидер и захранваните от него шини. Съгласува се по ток и време с токовите отсечки на съоръженията и фидерите присъединени към тях. Чувствителността се проверява спрямо двуфазния ток на к.с. на захранваните шини.

- *Максималнотокова защита*

Тя е основна защита за фидера и резервна за присъединенията към захранваните шини. Съгласува се по ток и време на заработване с МТЗ на присъединенията. Известна особеност има при съгласуването ѝ с инверсни характеристики на двигатели към шините. Тока и времето на заработване на защитата на фидера трябва да са над инверсната характеристика. Отстройката по време на МТЗ Δt е възприета 0,5 s.

Защити срещу еднофазни земни съединения

Капацитивният ток на з. с. (Iс) е изчислен въз основа на специфичният капацитет и дължината на кабелите и въздушни електропроводи.

За изясняване на условията за сигурна работа и определяне на минималния коефициент на чувствителност се разглежда минимален режим на работа по отношение на капацитивния земен ток при който са изключени резервните фидери.

Настройката на земните защити е съобразена с токовете с нулева последователност, възникващи при преходни процеси /включване на трансформатор на ПХ; пускане на двигател/.

Там където е възможно е въведено второ /по-чувствително/ стъпало на земната защита. Настройката на това стъпало е съобразена със следните условия:

- $I_{зр}$ – отстроен от собствения капацитивен ток и присъединението с кофициент на сигурност

$K_с = (1,5 \div 4);58$

- $t_{зр}$ – по-голямо от времето на преходните процеси, които генерират ток с нулева последователност

- за трансформатори: $t_{зр} \geq 1,5s$
- за двигатели: $t_{зр} \geq t_{пуск}$

Напреженови защити

В електрически уредби 6 kV е въведена само минимално напреженова защита за двигателите предпазвани със SEPAM 2035 M15. Предвидени са две нива на заработване:

- При силно понижаване на напрежението при к. с. в мрежата 6 kV и к. с. в мрежата 110 kV съпроводени с АПВ. $U_{зр} = 0,6\ U_n$ $t_{зр} = 3,0$ s
- При сравнително слабо понижение на напрежението $U_{зр} = 0,75\ U_n$ $t_{зр} = 10,0$ s

Други защити

- *Защита от токове с обратна последователност*

Въвежда се за двигатели със защита M 15. Реализира се с независима от времето характеристика. За всички двигатели е възприето токът с обратна последователност, при който защитата задейства I_s да бъде 30 % от номиналния ток на съответната машина I_b.

Времезакъснението при задействане е прието 10 s – отстройва се от най-голямото време на задействане на земните защити I_s=30% I_b; T=10 s.

- *Защита от продължително пускане и блокиран ротор*

Въвежда се за всички двигатели със защита M 15. Токът на настройката I_s е определен по следната методика:

I_s трябва да е по-голям от максималния товарен ток на двигателя и по-малък от минималния пусков ток на двигателя.

$I_{b\ max} < I_s < I_{start\ min}$

За $I_{b\ max}$ се приема 1,05 I_b

$I_{start\ min}$ се приема 0,8 I_{start} (допуска се, че напрежението при пускане може да се достигне стойност 0,8 $U_н$).

Токът на настройката в процент от I_b се определя по:

$$Is\% = \frac{I_{st\,min} + I_{b\,max}}{2 \times I_b} \times 100$$

Определяне на времезакъснението при пускане – ST

$$ST = \left(\frac{I_{start}}{I_{start\,min}} \right)^2 \times T_{start\,max}$$

$T_{st.max}=t_n \times K_c= t_n \times 1.3$

t_n – регистрирана продължителност на пусковия процес от експерименталните изследвания;

K_c – коефициент на сигурност – приет K_c=1,3

Продължителността на закъснението при блокиран ротор се определя приблизително по следния начин:

LT=0,75 ST

▪ *Ограничаване на броя на включванията за 1 час*

Защитата задейства при следните случаи:

- броят на включванията за 1 час надвиши въведения (H_{start});
- надвиши се броя на лимитираните последователни топли пускания Hstart за време 60/ Nstart;
- надвиши се броя на лимитираните последователни студени пускания C_{start} за време 60/N_{start};

Максималният брой включвания за 1 час могат да се определят от израза:

$$N_{start} \le \frac{Ib^2 \times 3600}{I_n^2 \times ST}$$

I_b – номиналния ток на двигателя, A;

I_n – пусков ток на двигателя, A;

ST – изчислената максимална продължителност на пусковия процес, s;

Ограничителни условия:

- броят на топлите пускания е до 4 бр.;
- разликата между броя на студените и на топлите пускания е 1.

C_{start} - H_{start} = 1

- минималното време между 2 пускания е 1 min.
- броят на последователните пускания се отнасят за последния интервал от $\frac{60}{N_{start}}$.
- Времезакъснението между отделните пускания T се определя по отношението:

$$T = \frac{60 / N_{start}}{C_{start}} \times 60, s$$

Заключение

Определените и въведени оптимални настройки на защитите в електрическите уредби 6 kV на “Челопеч Майнинг” АД, а преди това в “Елаците мед” АД доказаха ефективността на възприетия подход.

Съчетанието на математическото моделиране с експерименталните изследвания позволи синтеза и реализацията на защита с максимална чувствителност, селективност и бързодействие.

Повече от две години в “Елаците мед” и почти 6 месеца в “Челопеч Майнинг” неселективните изключвания са преустановени, няма дефектирали двигатели 6 kV. Експлоатационната надеждност значително се повиши.

Литература

Merlin Gerin – Protection and Control. Protection Guide.

Merlin Gerin – Protection Control Monitoring – Sepam 1000. Schneider electric SA, 1995.

Merlin Gerin – Protection, Diagnosis, Monitoring Sepam 2000 metering and protection functions.

Merlin Gerin – SF with VIP200 or VIP201 integrated control unit – Instruction for use - Schneider electric SH, 1995.

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 87-90

Numeric System for the Energetical Dispatchering

Luminita Popescu, Florin Grofu, Onisifor Olaru, Vasile Cozma

"Constantin Brâncuşi" University of TG-JIU

ABSTRACT. Technical and economic reasons demand an exact knowledge of the energetic parameters such as: potential, electrical current, consumed active or reactive energy, and also of the qualitative parameters of the energy (frequency, harmonic distorsions).
Technically and economically speaking, emitting an energy invoice to an industrial consumer assumes going through some stages: concluding an initial contract for providing electrical energy, in which a contracted active power and a contracted quantity of energy is specified monthly; the establishment of the energy consume recorded by the consumer; the checking up of the fitting in the contracted active power limit; the calculation and the emitting of the energy invoice.
In the case of a judicious choice of the contracted power, for an industrial factory, economies can be made, which can reach the sum of thousands of millions monthly. But this thing includes a risk, because it is based on contracting a smaller active power, and on monitoring carefully and in real time of it using systems for the energetic dispatching.

ЧИСЛЕНО МОДЕЛИРАНЕ НА ДИСПЕЧЕРСКА СИСТЕМА ЗА РАЗПРЕДЕЛЕНИЕТО НА ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЕНЕРГИЯ
РЕЗЮМЕ. Точното познаване на енергийните параметри като напрежение, променлив ток, консумирана активна и реактивна мощност, както и параметрите, характеризиращи качеството на мощността (честота, висши хармоници) е необходимо по технически и икономически причини.
От техническа и икономическа гледна точка издаването на фактура на промишлен консуматор преминава през няколко етапа: сключване на първоначален годишен договор за предоставяне на електрическа енергия, в който се договаря активната мощност и разпределението по месеци и тримесечия; регистриране на консумацията на енергия при консуматора; проверка за съответствие с договорената активна мощност; изчисляване и издаване на фактура
При положение, че промишленото предприятие договорира разумно доставяната енергия, могат да се постигнат значителни икономии на месец. Но това крие известен риск, тъй като се основава на договаряне на по-малка активна мощност и постоянно следене на консумацията в реално време с помощта на диспечерска система за разпределение на енергията.
Key words: *numerical system, energetic dispatching*

The necessity of the energetic dispatching

The energetic dispatching is necessary because of technical and economical reasons. To conclude a contract for providing electrical energy in optimum economical conditions, a close and permanent supervision of the energetic parameters is necessary. In the case of a factory which generally contracts a monthly active power of 20 MW, implementing an efficient energetic dispatching system, will contract, with no unusual problems, a monthly active power of 18,5 MW. For this thing to be possible, the following things are necessary:

- a stabile and reliable functioning of the dispatching system;
- the necessity of flattening the charge curve of the factory;
- educating the personnel because it exists the risk that through contracting a too low power, the activity of some big equipments for energy consume, might be blocked and these equipments are essential for the production process.

At a correct functioning of the dispatching system economies can be made, which can rise up to hundred of millions monthly.

Contracting a too low active power which is not technically justified, may lead it to exceed its value easily. SC Electrica SA, through the contract to provide electrical energy an higher active power than the one contracted is invoiced, with the same cost only for the situations when the value of the active power is not exceeded with more than 15% of the value of the contracted active power. For the cases when the consumed power exceeds with more than 15%, the difference is paid at a triple rate compared to the usual one.

The dispatching also has as a purpose taking care of the human resources and the materials function of the performance of the composing technological lines. The performance of a technological line can be deduced from the energetic parameters: active power and power factor. If the consumed energy is too low in accordance with the installed power, then the line works empty trip (if an electrical engine works empty trip, we we'll have a low power factor).

Picking up energetic data may be done at long intervals of time (more than ten seconds), case in which we are dealing with measuring/countering or at short or very short intervals of time, a frequency of 50 measurements (read, transmitted and processed) in the time unity, case in which we can follow up rapid processes, we can draw charge curves, we can diagnostic different defects.

If the link between the acquisition board and the stocking and processing unity (the computer) is bidirectional, then adjustment curls can be implemented for the processes which don't need a very high reaction speed, but with a complicated adjustment algorithm which can only be numerically implemented.

In this paper here are exposed the methods for picking up the energetic data, for their local stocking and also for their transmission to a great distance. No matter if the data will be used in dispatching the energy, in predictions, plans, in optimum repartitions of the energetic parameters or in making easy the leading assignments, these principles remain unchanged.

Energetic dispatching system

The general structure of an energetic dispatching system is the following:

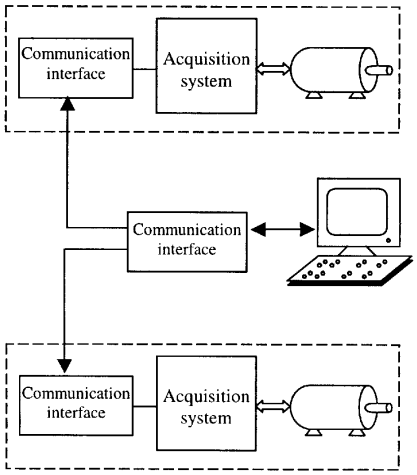


Fig. 1.

The analogical conditioning module is composed of the current and potential traductors, (usually measure transformers), mono interchange precision rectifiers, effective value converters, and also of the amplifying and limitation circuits for obtaining numerical signals which are necessary to the measuring of the phase difference between electrical current and potential and also the energy supply network frequency.

The principle scheme and the time diagrams corresponding to the different signals are presented in Fig. 2 şi Fig. 3.

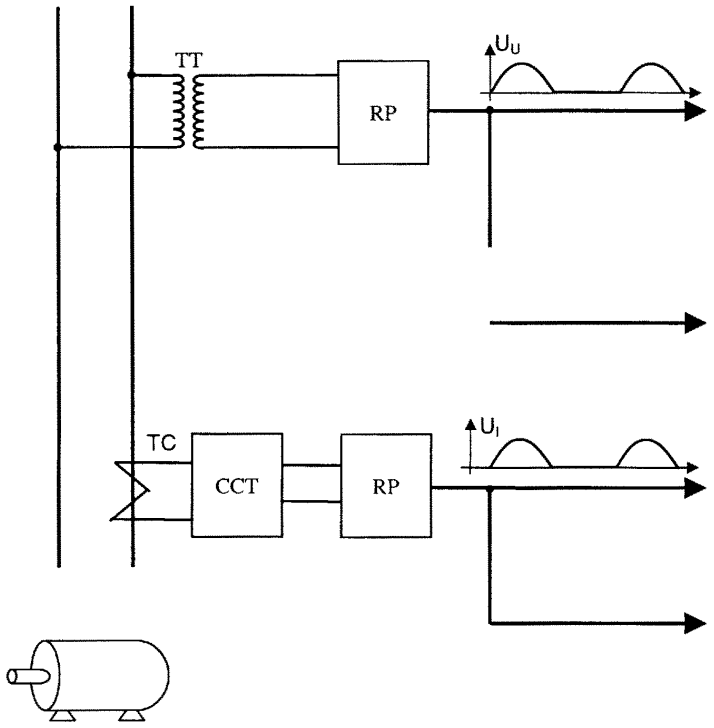


Fig. 2.

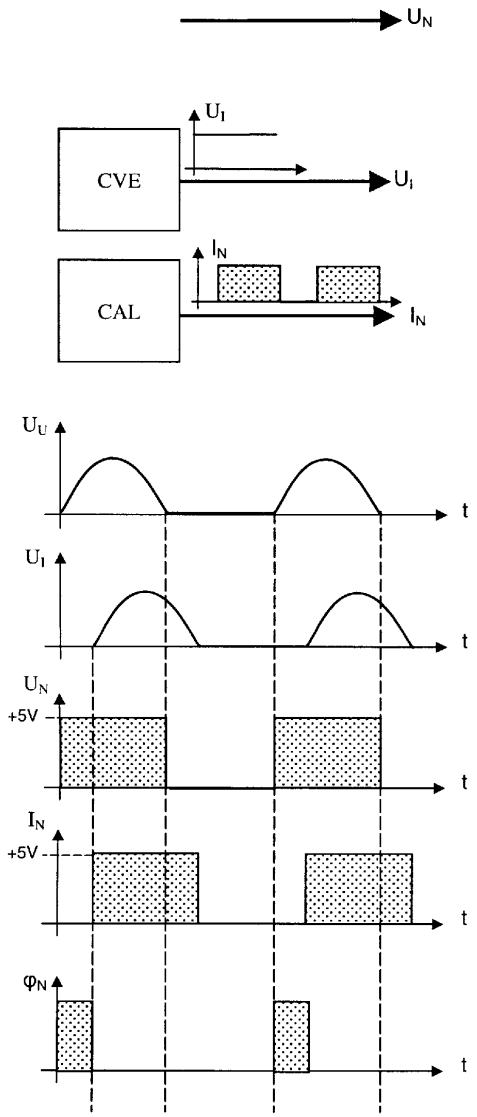


Fig. 3.

Measure and primary calculus module

It is an acquisition and numerical process of the data made around a microcontroller AT89C2051 with the following structure:

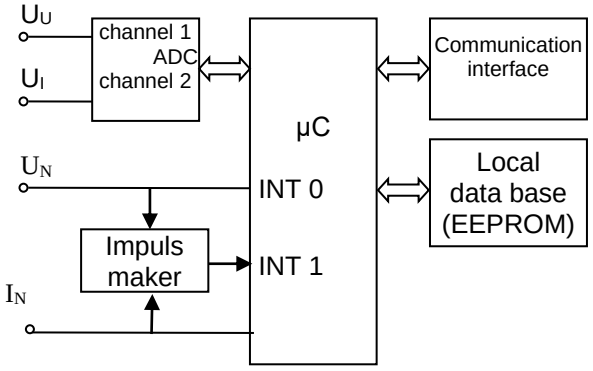


Fig. 4.

The system with μC controls the acquisition of the current and potential signals, and, also measuring with the help of the two intern timers the duration of the potential signal for the calculation of the frequency and also the duration between the appearance of the potential and current impulses.

Analog numerical conversions are made with a analog numeric converter MAX 1271 with 8 channels for input, with a 12 bits resolution and serial communication with the μC.

The μC transmits these data towards the central dispatcher using a serial communication interface RS232 for small distances (some meters) or RS 485 for greater distances (under 1200 m). In case the data must be delivered at even greater distances, there are used repeaters or radio modems.

Also, the system with μC makes a local data base using a EEPROM serial memory where are memorized the medium values of the current, potential, phase difference, and frequency per second, minute, hour, day, week, year, values which can be read by the general energetic dispatcher.

μC AT89C2051 has 2k Bytes of flash memory (Electricaly Erasable Programable Read Only Memory) which is sufficient for the programme necessities. The working frequency of a microcontroller is up to 24MHz. In this way, rapid measurements may be done. If a great number of measurements would be done, there would appear problems concerning the overload of the channel of communications and of the size of the data base. Because the dynamics of the data is low enough in most of the applications, growing up only during the transitory regimes (on/off consumers) it is sufficient only one measurement per period, and the transmitted data are an average of the values during a second.

The central dispatcher

It receives from the acquisition systems measured energetic parameters (line current, line potential, power factor, frequency). With these quantities there will be calculated:

- momentary active power;
- average active power on the current interval;
- momentary reactive power;
- average reactive power on the current interval;
- momentary apparent power;
- average apparent power on the current interval;
- consumed active energy;
- consumed reactive energy.

The dispatching program has at it's base a SQL data base server, namely „Microsoft SQL Server 7.0". The contribution at this part of the software is limited at the so-called data base, and at the ODBC communication part, and at the ODBC-SQL soft for self configuration. The operating system which is used as a platform is „Windows 2000 Professional" and represents the only soft which needs license. SQL server is also in the „desktop" version which is freeware. Also belonging to S.Q. is the chosen internet server: „Internet information services" and the contribution is represented by the configuration of the server and the proper web page.

Given the fact that the web page is not static (the values of the energetic quantities being modified at each second), it has been used a server which is configured for an ASP (Active Server Page).

The software structure is presented in the fig. 5:

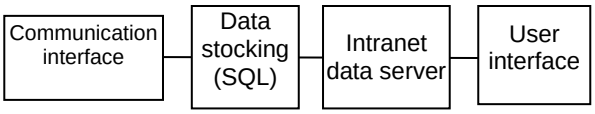


Fig. 5.

Conclusions

The main advantages of the dispatching were already reminded in this paper, but there will be presented the advantages of using some hardware and software systems dedicated to the application from the point of view of the economical and technical reasons.

Economically, the hardware part of the project in discussion has a low cost for the mono phased version. For the tri-phased version the cost doesn't get triple, and moreover, is much lower than the price of a similar dedicated device.

Due to the data distribution through intranet/internet, other costs for the physical or software implementation of the network don't appear. The clients of this web page won't need license but only for the operating system, which is very useful to any computer, in any case. The requirements from the point of view of the client's computer's performance are minimum, because it uses only the internet browser to visualize the data. It must also be reminded that the server is the only which runs the dispatching software and which needs performances ensured by any server.

The companies which make dispatching programs, the foreign ones (Circutor) and also the Romanian ones (DaQLab, Softrom, Comtec) give license to each computer: the server and the clients. The licence may rise up to values which may exceed 10.000$ in the case of „coorporate" license (the number of computers on which the soft is used does not matter if they are from the same company).

The difference this soft brings, next to the economical is the technical one, more exactly the necessary changes don't have to be done by the producer of the software, but by a personnel medium qualified in this field, because he needs only to change the web page, which is a much accessible thing to do.

References

Ignea Alimpie 1996 *Electrical measurement of the non electrical quantities*.

Intel Data Acquisition Book.

Maxim Data Acquisition Book.

National Data Acquisition Book.

Toma Liviu 1996 *Acquisition systems and numerical process of the signals*.

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 91-92

Определяне на оптималната дължина на захранващ кабел на еднокофов багер в открити рудници

Велизар Багаров, Йордан Стоянов

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

РЕЗЮМЕ. Формулирана е и е решена оптимизационна задача. С помощта на MATLAB е изследвана чувствителността на целевата функция към промяната на различни параметри. Получените резултати могат да се използуват при експлоатацията на електроснабдителни системи в открити рудници.

ESTIMATION OF THE OPTIMUM LENGTH OF THE FEEDING CABLE OF THE SINGLE-BUCKET EXCAVATOR IN THE OPEN-PIT MINE.
ABSTRACT. Optimizing task is defined and solved. A research of the objective function when changing its different parameters is done by the use of MATLAB software product. The final results can bee used during operation of the power supply, electrical system in the open pit mine.

В нашите открити рудници преимуществено се използуват еднокофови багери с обем на кофата до 8 м^3 (например ЭКГ 4,6, ЭКГ 8И и др.), които се захранват с кабел 6 kV през превключвателен пункт от съответния въздушен електропровод. Избора на дължината на багерния кабел е характерна оптимизационна задача, от чието правилно решение зависи рационалната експлоатация. Голямата дължина на багерния кабел оскъпява необходимите капиталовложения за закупуването му и увеличава разходите за заплащане на загубите на електрическа енергия. От друга страна, малката дължина на багерния кабел предопределя по-чести премествания на превключвателния пункт и всички последствия свързани с увеличаване на експлоатационните разходи поради преместването и евентуалния престой на потребителите, захранвани с електрическа енергия от същия електропровод.

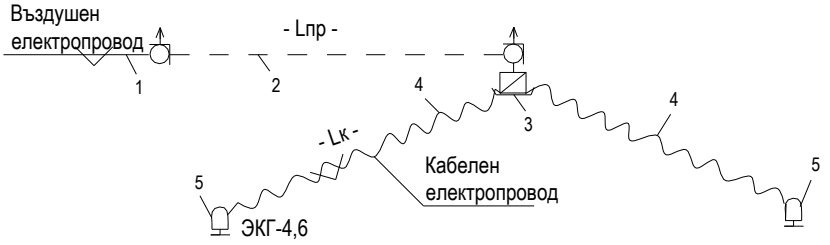
От съществено значение при формулиране на тази оптимизационна задача е да се оцени какъв е срока на използване на кабелите. Белых и Заспавец (1978) публикуват резултати от подробно изследване за средния срок на използуване на багерните кабели с различни дължини. Част от тези резултати са дадени в таблица 1.

Таблица 1.
Среден срок на използване на багерните кабели с различна дължина, месеци.

Тип багер	Интервал на дължините на кабелите, м				
	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400
ЭКГ 4,6	16,0	14,5	17,0	16,7	14,5
ЭКГ 8И	10,5	13,1	16,1	17,2	16,5

От данните в Таблица 1 се вижда, че дължините на багерните кабели не влияе особено върху срока на използуване на кабелите, който е около 16 месеца. От разговори провеждани и с енергетици на действуващи открити рудници с подобни багери у нас се определя среден срок на служба около 12 месеца.

Оптимизационната задача е формулирана при предположение за разположението на багерите и електроснабдителната система дадени на фиг.1.



Фиг. 1. Разположение на багерите и електроснабдителната система

Означенията на фигура 1 са както следва: 1 – временен въздушен електропровод; 2 – удължение на временния въздушен електропровод след преместване; 3 – превключвателен пункт; 4 – багерен кабел 6 kV; 5 – еднокофов багер. При надлъжна схема на електроснабдяване може да се приеме

$$L_{ПР} = 2.0{,}87.L_K \qquad (1)$$

където $L_{ПР}$ е разстоянието на преместване на превключвателния пункт, м;

L_K – дължината на багерния кабел, м.

При тази постановка е формулирана следната оптимизационна задача

$$G_K L_K + 3I^2 \beta_0 \tau \left(\frac{\rho_K L_K}{S_K} + \frac{\rho_K L_{ПР}}{S_B} \right).10^3 + \\ + \frac{L_Г}{L_{ПР}} C_{ПР} = min \qquad (2)$$

където C_K е цената на багерния кабел, лв./м;

I -максималният тридесет минутен ток на багера, А;

↕ $_0$ – цена на електрическата енергия, лв./kWh;

↔ - времетраене на годишните максимални загуби, h;

$_{к\ в}$ – специфична проводимост на кабел, електропровод, □мм²/м;

S_K, S_B – сечение на кабела, електропровода, мм²;

$L_Г$ – годишен работен фронт на багера, м;

$C_{ПР}$ –стойност на едно преместване, лв./преместване.

Багерите се захранват с електроенергия с кабел с медни жила със сечение 3 х 25+10 от най-различни производители като цените варират от 20 до 32 лв./м. Номиналният ток на багер ЭКГ – 4,6 е 28,8 А, а на ЭКГ – 8И е 60 А, а максималните тридесет минутни токове са съответно 14 А и 30 А при коефициент на търсене 0,5. Времетраенето на максималните загуби е 2100 h при времетраене на максималния товар 3300 h. Прието е $_к$=0,0187 □мм²/м, $_в$=0,030 мм²/м, $S_В$=35 мм², ↕$_0$=0,12 лв./kWh. Годишния работен фронт на багера е от 1500 до 4500 м. Стойността на едно преместване зависи от нивото на механизация и квалификацията на експлоатационния персонал. Обикновено преместванията но превключвателните пунктове се извършват във времето между две смени, така че да не се смущава работата на консуматорите. Едно преместване трае около 2 часа при стойност между 300 и 600 лв.

При решаване на формулираната оптимизационна задача, нетната настояща стойност се определя от разходите за кабели, за заплащане на загубите на електрическа енергия и за преместване в рамките на една година, тъй като срока на служба на кабелите е около една година.

След известни преобразувания целевата функция (2) може да бъде написана по следния начин:

$$L_K (C_K + C_E) + \frac{B}{1.74.L_K} = min \qquad (3)$$

където C_E = *0,11* за багер ЭКГ – 4,6 и C_E = 0,51 за багер ЭКГ – 8И;

$B = L_Г . C_{ПР}$ и може да има стойност от 450 000 до 2 700 000.

Анализът на целевата функция показва, че загубите на енергия влияят много слабо върху стойността и. От съществено значение е стойността на преместването и годишния работен фронт на багера. В по-малка степен влияе цената на кабела. В таблица 2 са дадени стойности за оптималните дължини на кабелите в зависимост от параметрите C_K и В.

Таблица 2.

Оптимална дължина на багерен кабел, м.

В \ C_K	20	26	32
500 000	119	104	94
1 000 000	169	148	133
1 500 000	207	181	163
2 000 000	239	209	189
2 700 000	267	234	219

Целевата функция е много слабо изпъкнала. Анализът показва, че при промяна на дължината на кабела в границите от 0,73 до 1,37 от оптималната, стойността на целевата функция се увеличава с до 5 % над стойността и при оптималното решение. Това означава, че цената на кабелите не е от решаващо значение за оптималното решение. Практически дължината на кабелите зависи от стойностите на ↕(т.е. от $L_Г$ и $C_{ПР}$). При известни стойности на $L_Г$ и $C_{ПР}$ от таблица 1 може да се отчете оптималната дължина, като конкретната дължина се подбира в зависимост и от технологичните изисквания.

Литература

Белых Б. П., Заспавец Б.И., *Распределительные электрические сети рудных карьеров,* М., Недра, 1978.

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 93-94

Анализ на действащите норми за качество на електрическата енергия

Николай Генадиев, Велизар Багаров

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

РЕЗЮМЕ. Сравнени са изискванията на все още действащия БДС 10694 – 80 с новите европейски норми EN приети у нас с БДС EN 50160, както и със стандарти приети в други страни. Сравнението показва, че е несъвместимо едновременното действие на двата стандарта.
Препоръчва се БДС 10694 – 80 да се отмени.

ANALYSIS OF THE OPERATING NORMS FOR THE QUALITY OF THE ELECTRICAL ENERGY
ABSTRACT. A comparison between still active Bulgarian standard – BDS 10694 – 80 and the new European norms – EN, which have been accepted with BDS 50160, as well as standards active in another countries is done. The result shows that the simultaneous act of both standards is incompatible.
A recommendation for repealing of BDS 10694 – 80 has been made.

Увеличаването на консуматорите предявяващи повишени изисквания към качеството на електрическата енергия и стремежа на страната ни да хармонизира нормативните документи с европейските, с оглед на предстоящото ни приемане в европейския съюз, налага приемането на европейския стандарт EN 50160(от 1999г.) за действащ и у нас от 2003г. Преди приемането му в България качеството на електрическата енергия се характеризираше с показателите посочени и нормирани в БДС 10694 – 80. Този стандарт е твърде остарял и не отразява настоящите условия в областта на електроснабдяването.

Въпреки приемането на (Л.1) за действащ и у нас, (Л.2) все още не е отменен, т.е. в България има два стандарта регламентиращи качеството на електрическата енергия. Ако направим внимателен преглед на тези два стандарта можем да видим, че те не са напълно съвместими.

За илюстрация на това противоречие е направено кратко сравнение на двата стандарта и са сравнени с Руския стандарт ГОСТ 13109 – 97, който е в значителна степен по конкретен.

В Българския Държавен Стандарт показателите характеризиращи качеството на електрическата енергия са: отклонение на честотата в нормален режим; колебание на честотата в анормален режим; отклонение на напрежението на клемите на потребителя; колебание на напрежението; големина на напрежението с обратна последователност; големина на напрежението с нулева последователност; несинусоидалност на напрежението.

Европейския стандарт БДС EN 50160 нормира следните показатели: отклонение и колебание на честотата; отклонение на напрежението; бързи изменения на напрежението; несинусоидалност и несиметрия на напрежението; краткотрайно спадане на напрежението; краткотрайни прекъсвания на напрежението; продължителни прекъсвания на напрежението; пренапрежение с различен характер.

От многото показатели по които се различават двата стандарта ще обърнем по-голямо внимание на нормените стойности за коефициента на несинусоидалност на напрежението и коефициентите на отделните хармонични съставляващи. Докато в (Л.2) несинусоидалността на напрежението се характеризира с един коефициент на несинусоидалност, равен на 5 % независимо от това за какво напрежение е мрежата, в европейският стандарт този коефициент е равен на 8 % отново независимо от напрежението на мрежата. За сравнение коефициента на несинусоидалност в ГОСТ 13109 - 97 се нормира в зависимост от това за какво напрежение е мрежата в която се определя той, с нормално и пределно допустими стойности (таблица 1).

В (Л.1) се предвижда още максимално допустими стойности на големините на четните, нечетните и кратните на три хармонични съставляващи (табл. 2), докато в (Л.2) въобще не се разглеждат, а в (Л.3) те отново се дефинират в зависимост от напрежението на мрежата в която се разглеждат (табл. 3).

Таблица 1.

Нормално допустима стойност на $K_{нс}$ при **Uном, kV**				Пределно допустима стойност на $K_{нс}$ при **Uном , kV**			
0.38	6-20	35	110-330	0.38	6-20	35	110-330
8.0	5.0	4.0	2.0	12.0	8.0	6.0	3.0

От посочените данни и таблици можем да направим следните изводи:

1. Несъответствие на посочените норми за коефициент на несинусоидалност в (Л. 1) и (Л. 2).
2. Значително разминаване на нормените стойности за коефициента на несинусоидалност и за отделните коефициентите на хармоничните съставляващи посочени в (Л.1) и (Л.3) в зависимост от напрежението на мрежата.
3. В (Л.1) са посочени еднакви нормени стойности за коефициента на несинусоидалност и за коефициентите на отделните хармонични съставляващи съответно за средно и ниско напрежение, а в същото време липсват нормативни стойности за високо напрежение.

Таблица 2.

Нечетни хармонични Съставящи				Четни хармонични съставящи	
некратни на 3	% от $U_н$	кратни на 3	% от $U_н$	кратност	% от $U_н$
5	6%	3	5%	2	2%
7	5%	9	1,5%	4	1%
11	3,5%	15	0,5%	6 … 24	0,5%
13	3%	21	0,5%		
17	2%				
19	1,5%				
23	1,5%				
25	1,5%				

Таблица 3.

Нечетни хармоници, не кратни на три, при **Uном, кV**					Нечетни хармоници, кратни на три, при **Uном, кV**					Четни хармоници, при **Uном, кV**				
◆	0.38	6-20	35	110-330	**◆**	0.38	6-20	35	110-330	**◆**	0.38	6-20	35	110-330
5	6.0	4.0	3.0	1.5										
7	5.0	3.0	2.5	1.0										
11	3.5	2.0	2.0	1.0						2	2.0	1.5	1.0	0.5
13	3.0	2.0	1.5	0.7	3	5.0	3.0	3.0	1.5	4	1.0	0.7	0.5	0.3
17	2.0	1.5	1.0	0.5	9	1.5	1.0	1.0	0.4	6	0.5	0.3	0.3	0.2
19	1.5	1.0	1.0	0.4	15	0.3	0.3	0.3	0.2	8	0.5	0.3	0.3	0.2
23	1.5	1.0	1.0	0.4	21	0.2	0.2	0.2	0.2	10	0.5	0.3	0.3	0.2
25	1.5	1.0	1.0	0.4	>21	0.2	0.2	0.2	0.2	12	0.2	0.2	0.2	0.2
>25	0.2+ 1.3x 25/n	0.2+ 0.8x 25/n	0.2+ 0.6x 25/n	0.2+ 0.2x 25/n						>12	0.2	0.2	0.2	0.2

От направения преглед на стандартите у нас и чужбина може да се направят следните препоръки:

1. Необходимо е да се направят измервания в електроснабдителната мрежа на Република България с цел установяване на реалните нива на хармоничните съставляващи и на коефициента на несинусоидалност с цел коректно определяне на допустимите "замърсявания" причинени от различни консуматори.

2. Недопустимо е едновременното действие на двата стандарта (Л.1) и (Л.2) поради противоречивите норми за някои от показателите за качество на електрическата енергия. Препоръчваме на Агенцията по стандартизация да отмени БДС 10694 – 80 и да остане като действащ стандарт регламентиращ качеството на електрическата енергия в Република България само БДС EN 50160.

Литература

Стандарт БДС EN 50160.
Стандарт БДС 10694 – 80.
ГОСТ 13109 – 97.

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 95-97

Основни зависимости при трансформаторно-тиристорен двустепенен стабилизатор за променливо напрежение

Венелин Тасев, Ивайло Йорданов

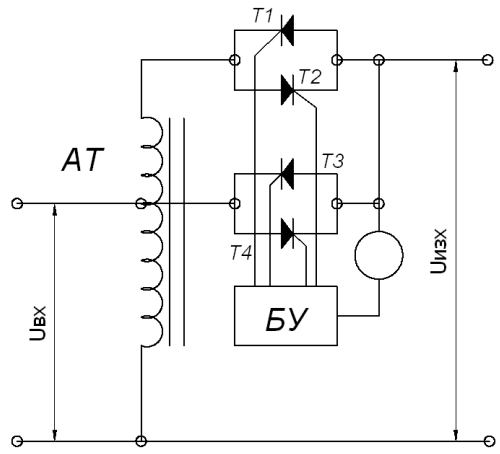
Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. В доклада се разглеждат двустепенни трансформаторно-тиристорни стабилизатори за променливо напрежение. Показана е обобщена принципна схема и формата на изходното напрежение Подробно е разгледан въпроса с върховата стойност на изходното напрежение. Изведени са практични формули за определяне на тази стойност в зависимост от коефициента на трансформация. Показани са стойностите при два начина на работа на стабилизатора- стабилизиране на ефективна и стабилизиране но средна стойности. Чрез изведените зависимости се облекчава проектирането на стабилизатори за променливо напрежение.

MAIN DEPENDENCIES OF A TRANSFORMER-THYRISTOR TWO STAGE STABILIZER FOR ALTERNATIVE CURRENT

ABSTRACT. The paper discusses two-stage transformer-thyristor stabilizers for alternative current. A generalized scheme and the shape of output voltage are presented. The issue of peak value of output voltage is discussed in details. Practical formulas are developed for determining the peak value in dependence of the coefficient of transformation. The values of two modes of operation of the stabilizer are shown – stabilizing the effective and stabilizing the average values. The derived dependencies are applied to facilitate the design of stabilizers for alternative current.

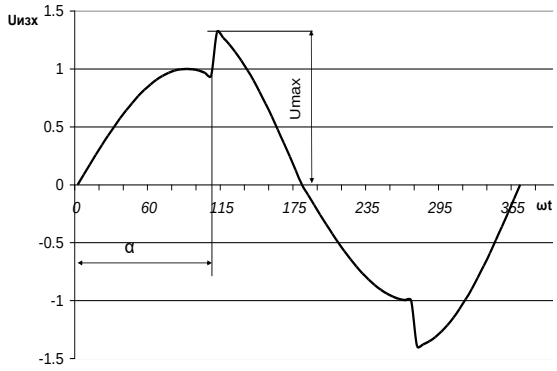
Стабилизаторите за променливо напрежение със средна мощност (2÷15 kVA) намират своето приложение в бита. Едно сравнително просто решение е чрез антипаралелно включени тиристорни двойки във веригата на автотрансформатор (Фиг. 1).



Фиг. 1.

При използването на две двойки тиристори на изхода се получава степенна синусоида.

Първата двойка тиристори се включва в началото на периода, като осигурява на изхода равно или по-ниско напрежение от входното. Втората двойка тиристори се включва на ъгъл α след началото на периода, стойността на който се определя от състоянието на схемата за управление, така че на изхода да има постоянна средна или ефективна стойност на напрежението. Включването на втората двойка тиристори води до повишаване на напрежението, като в момента на включване се получава нарастване на напрежението със скок. Формата на изходното напрежение е стъпална синусоида (Фиг. 2).



Фиг. 2.

За повечето от битовите консуматори (нагревателни прибори, осветителни тела, малки асинхронни двигатели и др.) това не оказва влияние. Голяма част от битовата електроника се занхранва от ключови токозхранвания, чийто входни изправителни групи са оразмерени за върховите стойности на захранващото напрежение. За нормалните мрежи тази стойност е около 310÷320 V. При разглеждания стабилизатор за променливо напрежение тези стойности могат да достигнат и по-висока стойност, която може да бъде опасен за тези уреди. Именно върховите стойности на тези стабилизатори са обект на настоящата статия.

Ефективната стойност на изходното напрежение $U_{изх.еф.}$ на разглеждания стабилизатор се определя по формулата:

$$U_{изх.еф.} = \sqrt{\int_0^{\alpha} (U_{вх.мах}.sin(\alpha))^2 + \int_{\alpha}^{\pi} (k.U_{вх.мах}.sin(\alpha))^2}, V \quad (1)$$

където $U_{вх.мах}$ - максимална стойност на входното напрежение, V;

$\alpha=\omega.t$ е ъгълът, при които се включва втората двойка тиристори, rad;

$k = \frac{w_2 + w_1}{w_1}$ е коефициентът на трансформация на авто-трансформатора.

След интегриране и несложни преобразувания за ефективната стойност на изходното напрежение се получава:

$$U_{изх.еф.} = U_{вх.мах.}.\sqrt{\alpha - \frac{1}{2}sin(2.\alpha) + \frac{k^2.\pi}{1-k^2}}.\frac{\sqrt{1-k^2}}{\sqrt{2.\pi}}, V \quad (2)$$

Екстремната (максималната) стойност на изходното напрежение зависи от момента на включване (α) на втората двойка тиристори, от максималната стойност на входното напрежение $U_{вх.мах.}$ от коефициента на трансформация к за α>π/2 и се определя по зависимостта:

$$U_{изх.мах.} = k.\sqrt{2}.U_{вх.мах.}\sin(\alpha), V \quad (3)$$

След заместване на (2) в (3) се получава:

$$U_{изх.мах.} = \frac{2.k.\sqrt{\pi}.U_{изх.}.\sin(\alpha)}{\sqrt{1-k^2}.\sqrt{\alpha - \frac{1}{2}.\sin(2.\alpha) + \frac{k^2.\pi}{1-k^2}}}, V \quad (4)$$

Основното предназначение на стабилизатора е да поддържа постоянна ефективна стойност на изходното напрежение ($U_{изх.}$=const.). При това условие ъгъл α, при който изходното напрежение $U_{изх.}$ ще има максимална стойност може да се определи чрез нулиране на първата производна на формула (4):

$$\frac{d}{d\alpha}(U_{изх.мах.})' = 0 \quad (5)$$

След извършване на съответните преобразувания се получава следния израз:

$$\alpha - \frac{1}{2}.\sin(2.\alpha) + \frac{\pi.k^2}{1-k^2} - tg(\alpha).\sin(\alpha) = 0 \quad (6)$$

От получената функция не може да се изрази α като функция на к, но може да се изрази к като функция на α.

$$k = \sqrt{\frac{\alpha - \frac{1}{2}.\sin(2.\alpha) - tg(\alpha).\sin^2(\alpha)}{\alpha - \frac{1}{2}.\sin(2.\alpha) - tg(\alpha).\sin^2(\alpha) - \pi}} \quad (7)$$

Получената зависимост дава стойностите на коефициентът на трансформация, при който се получава максимална стойност на изходното напрежение.

В таблица 1 са показани стойностите на α и получените стойности на коефициента на трансформация к. Пресметнати са и максималните стойности на изходното напрежение $U_{изх.мах.}$ при $U_{изх.еф.}$=220V и освен това е пресметната стойността на входното напрежение, при което се получава максимално изходно напрежение при съответния коефициент на трансформация к.

Таблица 1.

k	α[°]	$U_{изх.мах}$[V]	$U_{вх.еф.}$[V]
1,1	93,6	326	210
1,2	96,8	340	202
1,3	99,7	354	195
1,4	102	366	189
1,5	104,8	378	184
1,6	107,1	389	180
1,7	108,9	400	176
1,8	111,5	411	173
1,9	112,9	421	170
2	114,6	430	167
2,1	116,3	440	165

От получените резултати могат да се направят следните изводи:

1. При постоянна стойност на изходното напрежение, ъгълът α, при който се включва втората степен на авто-трансформатора расте с нарастването на коефициента на трансформация к.

2. Амплитудната стойност на изходното напрежение също расте с нарастване на коефициента на трансформация.

3. Входното напрежение, при което се получава максимална амплитудна стойност, при постоянно изходно напрежение, намалява с нарастването на коефициента на трансформация.

Ако вместо с ефективната стойност на напрежението $U_{еф}$ работим със средната стойност на изходното напрежение $U_{изх.ср.}$ зависимост (1) ще получи следния вид:

След известни преобразувания получаваме:

$$U_{изх.ср.} = \frac{U_{вх.мах}}{\pi}\left(\int_0^{\alpha} sin(\alpha)d\alpha + k.\int_{\alpha}^{\pi} sin(\alpha)d\alpha\right), V \quad (8)$$

След известни преобразувания получаваме:

$$U_{изх.ср.} = \frac{U_{вх.мах.}}{\pi}.[(k-1).\cos(\alpha) + k + 1], V \quad (9)$$

Като се използват направените за ефективната стойност на напрежението разсъждения и преобразования, то за съответните параметри се получават следните изрази:

$$\alpha_{(u=max)} = \arccos\frac{1 \pm k}{1 + k} \quad (10)$$

$$U_{изх.ср.(к=мах)} = U_{вх.ср.}\frac{1 \pm k}{1 + k} \quad (11)$$

$$U_{изх.max} = U_{вх.ср.} \cdot \frac{\pi.\sqrt{k}}{2} \quad (12$$

Резултатите получени по горните зависимости са показани в таблица 2. За да има сравняемост на резултатите средната стойост на напрежението е умножена с 1.11.

Получените резултати се различават незначително от тези пресметнати с ефективната стойност. Това позволява използването на зависимости (10, 11 и 12) получени от средната стойност на напрежението. Последните са получени в явен вид и са значително по-лесни за употреба.

Таблица 2.

k	α[°]	$U_{изх.max}$[V]	$U_{вх.еф.}$[V]
1,1	92,7	326	210
1,2	95,2	340	202
1,3	97,5	354	194
1,4	99,6	368	188
1,5	101,5	381	183
1,6	103,3	393	178
1,7	105	405	175
1,8	106,6	417	171
1,9	108	428	169
2	109,5	440	165
2,1	110,8	451	162

Получените зависимости и показаните резултати могат да се използват за проектирането на трансформаторно - тиристорен стабилизатор с двустепенно регулиране.

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 99-104

Моделиране на влиянието на параметрите на електроснабдителната система върху генерираните хармоници на ток и напрежение от мощни токоизправители

Николай Матанов, Сидер Сидеров

Технически университет , 1756 София

РЕЗЮМЕ. В съвременните технологични производства неизменно нараства използването на управляеми електронни преобразуватели, които са едни от основните източници на хармоници на тока и напрежението. Съществуват различни подходи за тяхната оценка и анализ с цел ограничаване вредното им влияние. В доклада е представен метод за наблюдаване работата на електроснабдителната система и конвенционалните електрически товари при наличието на мощни тиристорни изправители чрез използването на MATLAB

MODELING THE EFFECT OF PARAMETERS OF THE ELECTRICITY SUPPLY SYSTEM ON THE HARMONICS OF CURRENT AND VOLTAGE OF HIGH-VOLTAGE CONVERTERS

ABSTRACT. In the modern plants the usage of the controllable electronic converters increase permanently. They are one of the main sources of the current and voltage harmonics. There are many methods to analyze harmonics level with the intent to reduce the bad influence over conventional load. The paper presents the study of the working of the electric supply system with the ordinary electrical loads and thyristor rectifiers, using MATLAB.

Въведение

Съвременните технологични производства са наситени с електронни преобразуватели (ЕП), които имат нелинейни V-A характеристики, поради което се явяват и основните източници на хармоници на тока и напрежението. С оглед оценка на тяхното ниво, поради необходимостта от ограничаване вредното им влияние и минимизиране нуждата от реални измервания, които са трудоемки и скъпи, се налага съставяне на модели на конкретните електроснабдителни системи.

Разработването на напълно адекватни модели, отразяващи работата на ЕП, конвенционалните товари и разпространението на хармониците в сложни електроснабдителни системи (ЕС) е тежка задача (Сидеров, Матанов, 2003). За решаването на такива задачи се използват специализирани софтуерни пакети, които условно могат да се разделят на няколко групи:

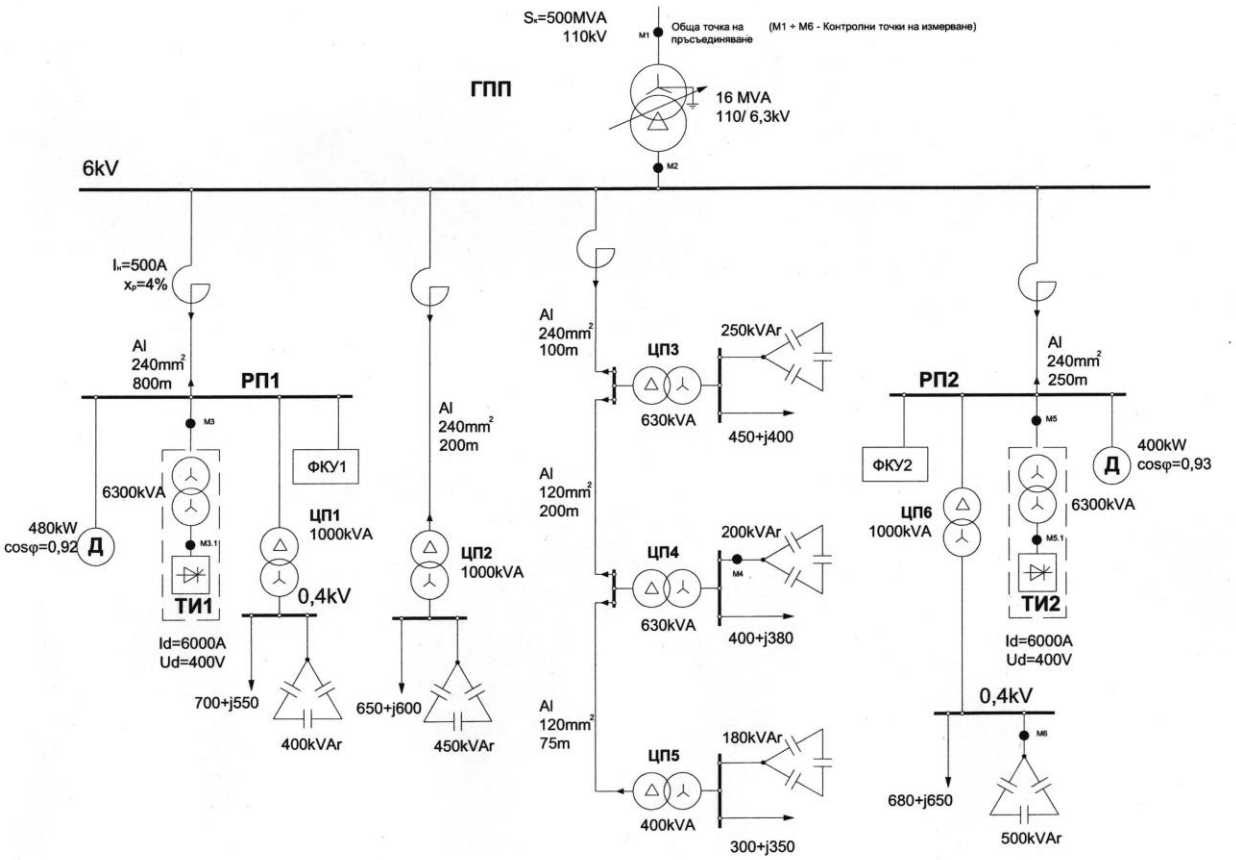
- софтуер с общо предназначение за симулиране на електронни (електрически) схеми. Такива например са *PSpice, Electronics Work Bench* и др., които често са насочени към електрониката, поради което включват и инструменти за подготовка на печатни платки;
- специализирани софтуерни продукти за анализ на различните режими на работа на електропреносните и разпределителни системи. Такива пакети са примерно *Power System Analysis Framework, ETAP, NEPLAN* (*CAP*. IEEE. 2002) и др. Характерното при тях е, че в големия програмен пакет със собствена работна среда има и модул за оценка нивото на хармониците;
- многофункционални програмни пакети, предназначени за решаването на най-разнородни технически и научни задачи, на базата на изграждане на конкретни математични модели. Такъв софтуер е *MATLAB.* В *MATLAB* има богато разнообразие от библиотеки и готови блокове, които могат да симулират различни технически елементи. Специализираната част от *MATLAB/Simulink*, която е насочена към електроенергийните, електропреносните и електроразпределителните системи се нарича *SimPowerSystems* (актуалната версия е 3.1) и е разработена от същият научен институт, на който принадлежи и преди това споменатия пакет *PSAF*.

В *MATLAB*, освен готовите блоков, има възможност потребителите да създават свои блокове и да ги включват в модели. Могат да се правят само изчислителни операции, като за тази цел има богато разнообразие от математически функции и възможност да се програмират нови алгоритми и процедури.

Особености при изграждане на модела на ЕС

Стъпвайки на опита и базата от (Сидеров, Матанов, 2003) с цел подобряване на адекватността на моделите, възможностите за гъвкавото и лесното им развитие и бързото изчисляване, оценяване и визуализиране на исканите параметри е съставен модел на електроснабдителна система използвайки инструментите предоставени от *MATLAB/Simulink/SimPowerSystems* .

Актуализирайки схемата от (Сидеров, Матанов, 2003) е съставена еднолинейна схема на примерна ЕС на промишлен обект – фиг.1.



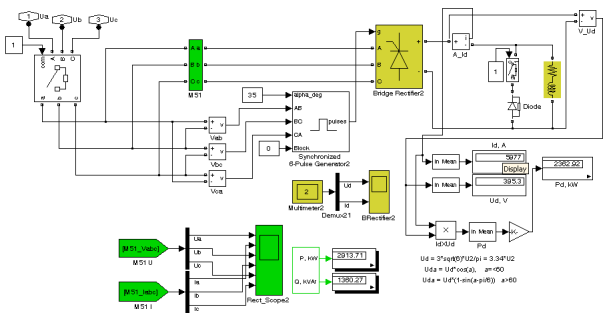
Фиг.1. Еднолинейна схема ЕС

При съставянето на модела на схемата от фиг.1 за всеки от елементите се задават неговите номинални характеристики, както следва:

- Захранваща система: номинално напрежение, номинална честота, мощност на късо съединение, отношение X/R.
- Кабелни линии: номинална честота; специфично съпротивления; индуктивност и капацитет за 1 km дължина; за системите с права и нулева последователност; дължина в километри.
- Реактори: активно съпротивление и индуктивност.
- Силови трансформатори: номинална мощност и честота на захранващото напрежение; номинални линейни напрежения на намотките; активното съпротивления и индуктивността на всяка от намотките в относителни единици; активната и реактивна компонента на намагнитващия ток в относителни единици; вида на свързването (звезда, триъгълник) за всяка от намотките;
- Линейни (конвенционални) товари: номинално напрежение и честота; активна и реактивна мощност; начин на свързване.
- Кондензаторни батерии: номинално напрежение и честота; капацитивна мощност; активни загуби; начин на свързване.

Повечето необходими параметри са в именувани единици, с изключение съпротивленията на трансформаторите и могат да се вземат от паспортните данни на всички съоръжения или справочна литература. Освен това параметрите могат да се ползват без допълнителни изчисления и привеждания. При подготовката на модела са използвани справочните данни за стандартно оборудване от (Стоянов и др., 1997).

За въвеждането на нелинейните товари е разработен отделен модел (подсистема) на трифазен мостов тиристорен изправител. На фиг.2 е показана изградената система (Bridge Rectifier).



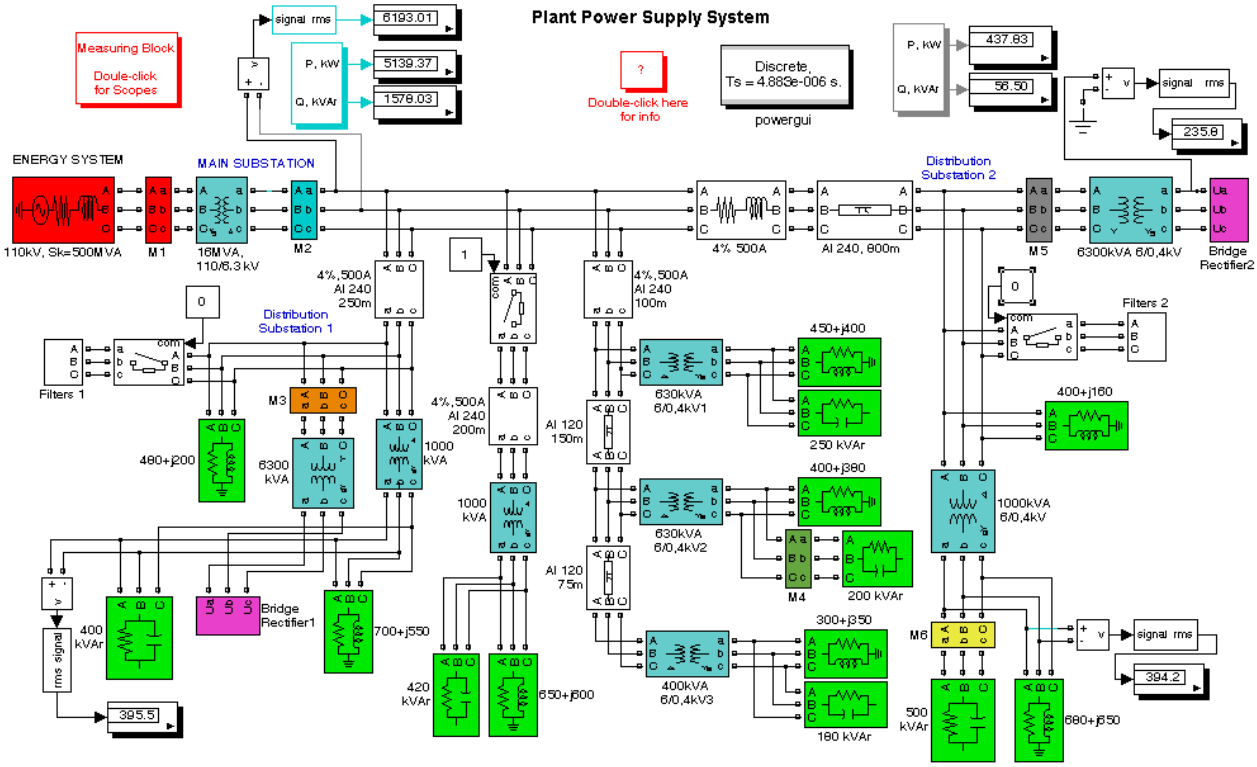
Фиг.2. Модел на трифазен мостов тиристорен изправител

Тя се състои от няколко основни блока: блок тиристори; блок за синхронизация със захранващото напрежение и изработване на управляващи импулси към тиристорите; блок за задаване на ъгъла на управление; активно-индуктивен товар. Към модела има и входен прекъсвач и измервателна апаратура – осцилоскопи за наблюдаване на моментните стойности на всички токове и напрежения и апарати за измерване средните стойности на величините на постояннотоковата страна на изправителя. Така направената подсистема е настроена и тествана за

коректната й работа най-напред самостоятелно, без да се вгражда в модел на ЕС. Модела на тиристорния изправител (ТИ) е така синтезиран, че при въвеждането му в общия модел на ЕС да може лесно да се включва/изключва, да се променя режима му на работа, както и да се наблюдават всичките му електрически параметри.

Разработеният общ модел на ЕС от фиг.1 е даден на фиг.3.

На фиг.3 се вижда, че в общият модел има две подсистеми Filters1 и Filters2. Това са модели на филтро-компенсиращи устройства (ФКУ).



Фиг.3. Модел на електроснабдителна система с инсталирани мощни ТИ

Параметрите на ФКУ са изчислени по формулите дадени в (Dogan et al., 2002). ФКУ се състоят от два филтъра настроени съответно за 5 и 7 хармоници, един филтър настроен за 11 и 13 хармоници и един високочестотен филтър за хармоници с номера над 17.

Условия и варианти на симулация

Общите условия при, които е изследвана схемата и са направени всички симулации са:

- Разглежда се пълен трифазен модел на електроснабдителната система.
- Общата точка на присъединяване към системата на електроразпределителното дружество е на входа на трансформатора в главната понижаваща подстанция (ГПП) – т.М1 от фиг.1.
- Захранването е от система с мощност на късо съединение 500MVA, линейно захранващо напрежение 110kV, общ коефициент на несинусоидалност 0% и честота 50Hz.
- Всички симулации са при установен режим на работа на съоръженията, т.е. не се разглеждат преходните процеси и не се променят режимите на работа на линейните и нелинейни товари.
- Тиристорните изправители, когато са включени, работят в номинален режим, т.е. Ud=400V, Id=6000A, $\alpha=35^0$ и активно-индуктивен товар.
- При решаването на диференциалните уравнения (симулациите) описващи моделите са използвани неявния метод на Рунге-Кута в началото на решенията и метод използващ формули за обратно диференциране от 2-ри ред (ode23tb), тъй като според (Дьяконов и др., 2002) при наличие на нелинейни елементи в схемите, какъвто е нашият случай, този подход дава най-добри резултати и бързодействие.
- Симулациите са правени при дискретно моделиране на системите, като честотата на дискретизация е 204.8kH (T_s=1/50/4096). Решението за прилагането на дискретен модел, а не непрекъснат, е взето с цел ускоряване на симулациите (над три пъти), като предварително са сравнени резултатите получавани при непрекъснат и дискретен модел, за изследваните от нас сигнали, при което се установи, че за тази честота на дискретизиране грешката е средно под 1%. Освен това всички измервания се правят след установяване на всички сигнали.
- Анализ на сигналите в честотната област включва хармониците от 0 до 50. Възможно е отчитането и на хармоници с по-висок порядък, но при настройките на модела не бяха отчетени значими стойности на тези хармоници.

Вариантите на симулация, които са осъществени и изследвани са:

- **I вариант**, включени са всички линейни товари; ТИ1, ТИ2, ФКУ1 и ФКУ2 са изключени;

- **II вариант**, включени са всички товари - линейни и нелинейни, ФКУ1 и ФКУ2 са изключени;
- **III вариант**, като **II вариант** но с включени част от ФКУ1 и ФКУ2 – само филтрите за 5 и 7 хармоници;
- **IV вариант**, включени са всички съоръжения в схемата.

Опитни резултати и анализ

В табл.1 са дадени получените резултати за общия коефициент на несинусоидалност (THD), хармониците на токовете и напреженията в шестте контролни точки (М1÷М6, виж фиг.1) и коефициентите на претоварване по ток на кондензаторните батерии – Кпр.кб, за точки М4 и М6. Стойностите в табл.1 са в проценти, освен за основния (първи) хармоник, който е в именувани единици, съответно волтове и ампери (той съответства на 100%).

От резултатите в табл.1 могат да се направят следните констатации:

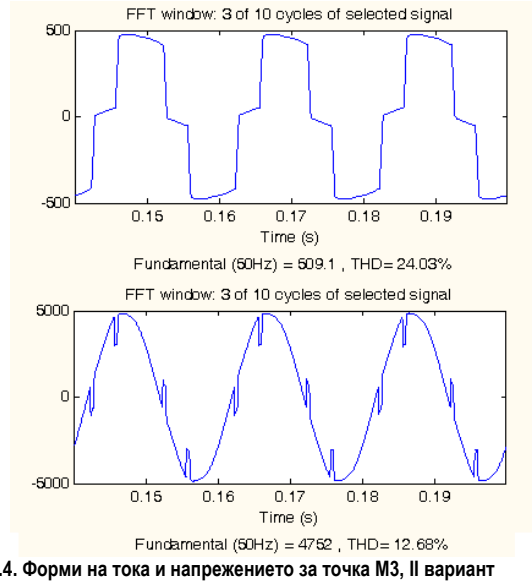
- При включени нелинейни товари (**II вариант**) коефициентите на несинусоидалност на тока и напрежението, както и нивата на отделните хармоници във всички контролни точки, надхвърлят изискванията на стандарти: IEEE Std. 519-1992 и EN 61000-3-6. Вторият е хармонизираният у нас стандарт БДС EN 61000-3-6.

Таблица 1

*Коефициенти на несинусоидалност и хармоници на напрежението и тока за контролни точки М1÷М6, за **I** и **II варианти***

	h	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
		U,%	I, %	U,%	I, %	U,%	I, %	U,%	I, %	U,%	I, %	U,%	I, %
I	**THD, %**	**0**	**0.09**	**0**	**0.09**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
	1, V(A)	109248.0	35.2	3575.8	508.9	3551.8	41.7	225.1	281.4	3538.4	41.6	227.6	711.3
II	h	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
		U,%	I, %	U,%	I, %	U,%	I, %	U,%	I, %	U,%	I, %	U,%	I, %
	THD, %	**2.32**	**8.56**	**7.15**	**9.34**	**12.68**	**24.03**	**6.12**	**34.73**	**13.21**	**23.81**	**8.88**	**48.39**
	1, V(A)	107975.2	68.3	3458.5	1095.3	3360.2	360.0	217.7	272.2	3322.0	334.4	213.7	667.5
	5	0.86	5.85	2.64	6.37	4.89	17.7	5.5	27.51	4.87	17.44	8.35	41.77
	7	0.89	4.36	2.73	4.75	4.93	11.97	2.5	17.56	5.19	11.98	2.8	19.64
	11	0.93	2.88	2.86	3.16	5.08	7.23	0.74	8.12	5.28	7.14	0.89	9.79
	13	0.89	2.35	2.74	2.56	4.83	5.74	0.48	6.22	5.06	5.73	0.59	7.63
	17	0.8	1.6	2.46	1.76	4.31	3.89	0.23	3.96	4.49	3.84	0.29	4.91
	19	0.74	1.34	2.28	1.46	3.97	3.19	0.17	3.26	4.19	3.2	0.22	4.09
	23	0.61	0.9	1.87	0.99	3.26	2.16	0.09	2.14	3.4	2.13	0.12	2.68
	25	0.54	0.75	1.67	0.93	2.89	1.77	0.07	1.78	3.08	1.79	0.09	2.23
	29	0.4	0.46	1.23	0.52	2.13	1.13	-	1.1	2.25	1.1	-	1.39
	31	0.34	0.38	1.04	0.42	1.78	0.88	-	0.88	1.93	0.9	-	1.12
	35	0.2	0.2	0.63	0.22	1.07	0.47	-	0.46	1.15	0.48	-	0.59
	37	0.15	0.14	0.46	0.15	0.76	0.32	-	0.33	0.87	0.34	-	0.42
	41	0.04	0.004	0.13	0.04	0.2	0.08	-	0.08	0.25	0.09	-	0.11
	43	0.02	0.02	0.06	0.02	0.11	0.04	-	0.04	0.12	0.04	-	0.05
	47	0.01	0.015	0.05	0.01	0.09	0.03	-	-	0.1	-	-	-
	49	0.01	0.01	0.04	0.01	0.08	0.02	-	-	0.08	-	-	-
	Кпр.кб	-	-	-	-	-	-	-	102.4	-	-	-	104.2

- Големината и спектъра на хармониците на тока в точки М3 и М5 (точки на включване на нелинейните товари) отговарят на теоретично известите зависимости и съотношения (Dugan et al., 2002), което потвърждава коректността на моделите. Формата на тока и напрежението за точка М3 са дадени на фиг.4, а спектралния състав и големината се виждат в табл.1.
- Коефициента на несинусоидалност на тока на кондензаторните батерии в цехови подстанции 4 и 6 (ЦП4 и ЦП6) са по-високи и от тези в точките на включване на ТИ. От данните се вижда, че основен дял за това имат 5 и 7 хармоници. Формата на тока (горе) и напрежението (долу) в точка М4 са дадени на фиг.5. Коефициентите на претоварване по ток на кондензаторните батерии в ЦП4 и ЦП6 не са над допустимите, но трябва да се има предвид, че в случая на входа на ГПП е подадено номиналното напрежение 110kV, а на шините ниско напрежение имаме отрицателна стойност на отклонението на напрежението (в допустимите граници), поради работа на системата в максимален режим. При положителни отклонения на напрежението (примерно нощните часове) е възможно надхвърляне на допустимите стойности.



Фиг.4. Форми на тока и напрежението за точка М3, II вариант

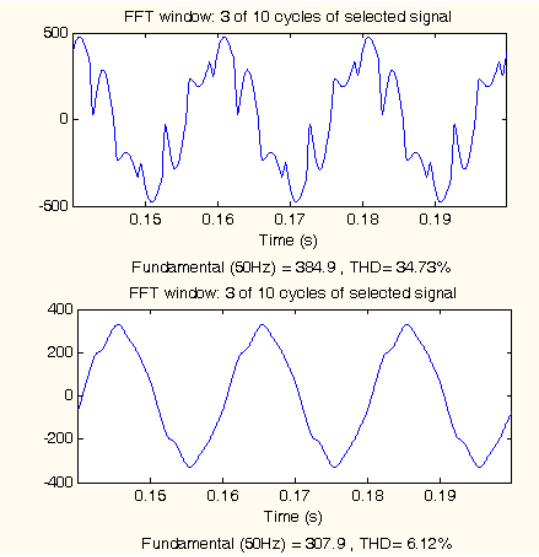
Това може да се провери и на разглеждания модел, но изисква допълнителни симулации в подходящ режим на работа.

Имайки предвид нивото и състава на хармониците на тока и фактора на мощност на общите шини са изчислени филтро-компенсиращи устройства 1 и 2. Изчисляването е

извършено на две стъпки. Първо са определени параметрите на филтри за 5 и 7 хармоници (най-значимите), проверено е нивото на хармониците в различните контролни точки след включването на филтрите (**III вариант**). Второ добавени са филтър за 11 и 13 хармоници и високо-честотен филтър за хармоници над 17 (**IV вариант**). Данните от симулациите за **III** и **IV варианти** са дадени в табл.2

От данните в табл.2 могат се направят следните изводи:

- При включени филтри за 5 и 7 хармоници (**III варианти)** големината на тези хармоници на тока рязко намалява, което доказва необходимостта от ФКУ.
- Коефициентите на несинусоидалност на напрежението в общата точка на присъединяване М1 е в допустимите граници (2% - IEEE 519-1992), но нивото на хармониците на тока с номера 11, 19 и от 23 до 35 не са в нормираните граници.



Фиг.5. Форми на тока и напрежението за точка М4, II вариант

- Коефициента на несинусоидалност на напрежението на общите шини на ГПП е над 5%, което не отговаря на изискванията на IEEE 519-1992.

Таблица 2

*Коефициенти на несинусоидалност и хармоници на напрежението и тока за контролни точки М1÷М6, за **III** и **IV варианти***

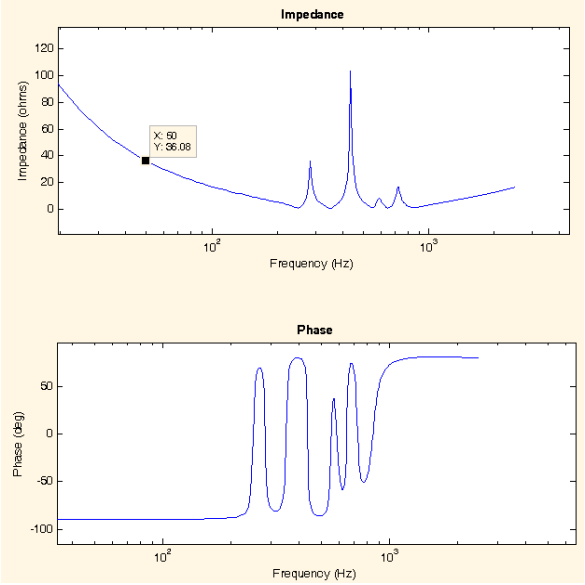
	h	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
		U,%	I, %	U,%	I, %	U,%	I, %	U,%	I, %	U,%	I, %	U,%	I, %
	THD, %	**1.75**	**3.77**	**5.35**	**4.16**	**9.33**	**25.1**	**1.25**	**10.42**	**9.74**	**24.97**	**1.72**	**13.26**
	1, V(A)	108258.0	65.7	3485.3	1047.2	3403.3	359.4	219.4	274.3	3366.5	336.8	216.6	676.8
	5	0.16	1.14	0.48	1.24	0.9	18.02	1.01	5.07	0.87	17.84	1.5	7.47
	7	0.1	0.55	0.33	0.6	0.61	12.23	0.3	2.08	0.58	12.24	0.31	2.19
	11	0.63	2.03	1.92	2.24	3.39	7.68	0.5	5.48	3.51	7.63	0.59	6.5
	13	0.64	1.75	1.96	1.93	3.44	6.2	0.34	4.42	3.57	6.2	0.41	5.35
	17	0.64	1.34	1.95	1.48	3.4	4.48	0.19	3.16	3.54	4.47	0.23	3.89
	19	0.61	1.15	1.88	1.27	3.28	3.8	0.14	2.68	3.42	3.82	0.17	3.31
III	23	0.56	0.88	1.74	0.98	3.01	2.86	0.09	2.01	3.16	2.86	0.11	2.49
	25	0.54	0.77	1.65	0.85	2.87	2.47	0.07	1.73	3	2.49	0.09	2.16
	29	0.47	0.58	1.44	0.64	2.5	1.86	0.04	1.3	2.63	1.87	0.06	1.62
	31	0.44	0.5	1.35	0.57	2.34	1.6	0.04	1.13	2.45	1.63	0.04	1.41
	35	0.36	0.37	1.12	0.42	1.92	1.17	0.02	0.83	2.04	1.95	0.03	1.04
	37	0.33	0.32	1.02	0.36	1.76	1	0.02	0.71	1.86	1.03	0.02	0.89
	41	0.26	0.22	0.78	0.25	1.34	0.69	0.01	0.5	1.45	0.72	-	0.62
	43	0.22	0.18	0.69	0.21	1.19	0.58	0.009	0.41	1.27	0.6	-	0.52
	47	0.15	0.12	0.47	0.13	0.79	0.35	0.006	0.26	0.87	0.38	-	0.33
	49	0.12	0.09	0.38	0.1	0.67	0.27	0.004	0.2	0.72	0.3	-	0.26
	Кпр.кб	-	-	-	-	-	-	-	98.0	-	-	-	96.0
	THD, %	**0.77**	**1.67**	**2.35**	**1.84**	**4.12**	**25.74**	**1.1**	**6.15**	**4.21**	**25.66**	**1.62**	**8.69**
	1, V(A)	108399.5	6560.5	3502.3	1043.0	3429.5	3677.7	213.4	275.6	3394.1	3.4	218.4	682.4
	5	0.16	0.19	0.5	1.29	0.89	18.08	1.04	5.23	0.91	17.93	1.58	7.89
	7	0.11	0.58	0.34	0.64	0.66	12.38	0.31	2.16	0.6	12.36	0.32	2.26
	11	0.14	0.46	0.43	0.5	0.78	7.86	0.11	1.24	0.75	7.85	0.13	1.4
	13	0.08	0.23	0.25	0.26	0.47	6.44	0.04	0.56	0.43	6.43	0.05	0.65
	17	0.1	0.22	0.32	0.25	0.57	4.82	0.03	0.52	0.56	4.84	0.04	0.62
	19	0.15	0.28	0.47	0.31	0.84	4.16	0.03	0.66	0.82	4.16	0.04	0.79
	23	0.23	0.37	0.71	0.4	1.24	3.31	0.03	0.82	1.26	3.35	0.04	1
IV	25	0.24	0.35	0.74	0.39	1.31	2.91	0.03	0.78	1.31	2.93	0.04	0.93
	29	0.25	0.31	0.78	0.35	1.35	2.36	0.02	0.71	1.39	2.41	0.03	0.87
	31	0.25	0.28	0.76	0.32	1.33	2.09	0.02	0.63	1.35	2.12	0.02	0.76
	35	0.24	0.25	0.74	0.28	1.27	1.71	0.01	0.55	1.32	1.77	0.01	0.68
	37	0.23	0.21	0.7	0.25	1.22	1.51	-	0.48	1.25	1.55	-	0.59
	41	0.21	0.19	0.65	0.21	1.11	1.24	-	0.42	1.18	1.3	-	0.52
	43	0.2	0.16	0.6	0.19	1.05	1.08	-	0.36	1.09	1.13	-	0.44
	47	0.18	0.14	0.55	0.15	0.92	0.87	-	0.3	1	0.94	-	0.38
	49	0.16	0.12	0.49	0.14	0.85	0.76	-	0.26	0.9	0.81	-	0.31
	Кпр.кб	-	-	-	-	-	-	-	98.1	-	-	-	96.3

EN 61000-3-6 е по либерален – допуска до 6.5%, но той нормира нивото на индивидуалните хармоници и в случая хармониците на напрежението от 17 до 25 не отговарят не неговите изисквания.

- Коефициентите на несинусоидалност на напрежението в точките на включване на ТИ, където се захранват и други конвенционални товари, е над допустимите 6.5% (**III варианти).**

От казаното до тук е ясно, че се налага допълнително ограничаване на хармониците на тока от тиристорните изправители. Това в случая е направено с разширяване обхвата на ФКУ - **IV варианти**. От резултатите в табл.2 се вижда, че всички показатели, след поставянето на допълнителните филтри са в допустимите граници.

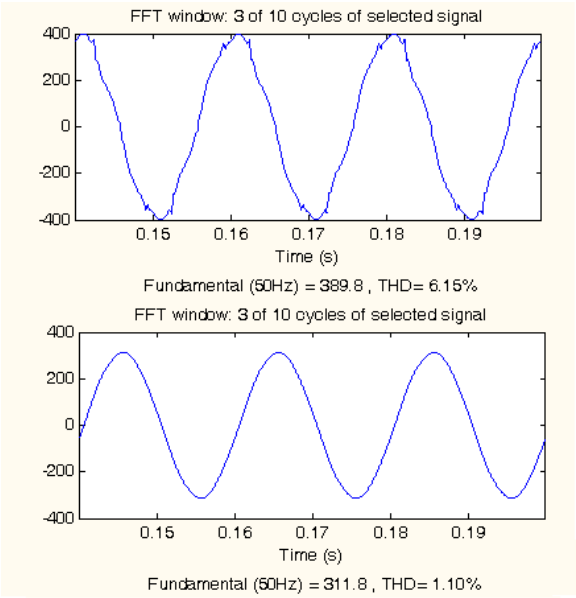
На фиг.6 е показана промяната на импеданса на ФКУ в честотната област за **IV варианти**.



Фиг.6. Промяна на импеданса на ФКУ2 в честотната област (IV вариант)

Освен ефекта за ограничаване на хармониците, е постигнато и подобряване на фактора на мощност на извода на ГПП (точка М2), като от 0.89 преди поставянето на филтрите, само с компенсиране в цеховите подстанции на ниско напрежение, е покачен на 0.94.

Формата на тока и напрежението за точка М4 за **IV варианти** са дадени на фиг.7, която се различава от тази на фиг.5.



Фиг.7. Форми на тока и напрежението за точка М4, IV вариант

Изводи

На базата на представените резултати от различните варианти на изследване на примерната схема на електроснабдяване на промишлено предприятие, можем да направим следните обобщени изводи:

- Съставеният трифазен модел позволява да се анализира разпространението на хармоници на ток и напрежение в сложни йерархични разпределителни мрежи в промишлеността и населените места.
- Съставеният модел позволява да се установи степента на претоварване на основни елементи на електроснабдителната система (кондензаторни батерии, силови трансформатори и др.) въз основа на наличието на висши хармоници на тока и напрежението.
- Моделът позволява да се оцени ефективността на ограничаването на нивото на хармониците на тока и напрежението с помощта на ФКУ.

Литература

Дьяконов В., В.Круглов. 2002. *MATLAB анализ, идентификация и моделирование систем*. Питер, Санкт-Петербург.

Сидеров С., Н.Матанов. 2003. Анализ на хармониците на ток и напрежение в електроснабдителни системи с инсталирани мощни електронни преобразуватели. Тринадесета научна конференция - *"ТРАНСПОРТ 2003"; София*, 13–14 ноември.

Стоянов Ст. и др. 1997. Справочник по енергетика. т.1 и 2, АБС Техника, София.

Computer Applications in Power. 2002. IEEE, Vol.14 N. 2, April.

Dugan C.R., M.F.McGranaghan, S.Santos, H.W.Beaty. 2002. *Electrical Power Systems Quality*. McGraw-Hill, New York.

EN 61000-3-6. Electromagnetic Compatibility (EMC). *Limits. Assessment of Emission Limits for Distorting Loads in MV and HV Power Systems*. Basic EMC publication.

IEEE Standard 519-1992. *Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems.*

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 105-107

Ротационен феромагнитен елипсоид във въртящо се магнитно поле

Константин Костов

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

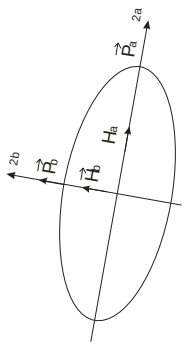
РЕЗЮМЕ. Вихровите машини се използват за интензифициране на някои технологични процеси като смилане, емулгиране, смесване и др. Това се осъществява чрез цилиндрични феромагнитни работни частици, поставени във въртящо се магнитно поле. В настоящата работа се изчислява електромагнитният момент, който действа на една феромагнитна частица. За да се повиши точността, цилиндърът се замества с ротационен елипсоид, което дава възможност да се намери полето вътре в частицата. Изследват се условията за устойчивост при въртенето в зависимост от ъгъла между направлението на дългата ос на елипсоида и посоката на полето на възбудителя. Получените зависимости позволяват да се изчисли силовото въздействие върху обработваемия материал.

ROTATIONAL FERROMAGNETIC ELLIPSOID IN ROTATING MAGNETIC FIELD

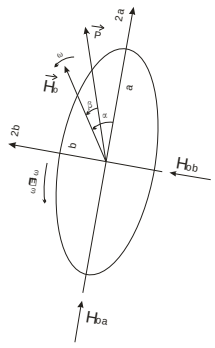
ABCTRACT. Vortex machines are used with the purpose of intensifying certain technological processes as milling, mixing, emulsification, etc. Such intensification can be achieved by means of cylindrical ferromagnetic working particles, placed in rotating magnetic field. The present paper considers the calculation of the electromagnetic torque acting on a ferromagnetic particle. To increase the accuracy of calculation the cylinder is replaced by rotational ellipsoid. This allows determining the field inside the particle. Conditions of rotation stability are investigated depending upon the angle between the long ellipsoid axis and the field direction of the exciter. The relations obtained permit to calculate the magnitude of forces acting on the material to be treated.

Вихровите машини се използват за интензифициране на някои технологични процеси като смилане, емулгиране, смесване и др. Това се осъществява чрез цилиндрични феромагнитни работни частици, поставени във въртящо се магнитно поле. За да се изчисли силовото въздействие върху обработваемия материал е необходимо да се намери електромагнитният момент, който действа на една феромагнитна частица. В настоящата работа това е реализирано, като цилиндричната частица е заменена с ротационен елипсоид. Както е известно, такова тяло се намагнитва хомогенно, когато е поставено в хомогенно поле.Това дава възможност за точно изчисляване на полето вътре в частицата и за прилагането на формулата за електромагнитен момент на плосък токов контур в магнитно поле.

Нека ротационният елипсоид е получен от въртене на елипса около дългата й ос с дължина $2a$, фиг.1а и фиг.1б.



Фиг. 1 а.



Фиг. 1 б

Той е поставен в безкрайно, постоянно, хомогенно, неподвижно поле с магнитен интензитет $\overrightarrow{H_o}$ и магнитна индукция $\overrightarrow{B_o}$. Нека елипсоидът е в общо положение спрямо външното поле (разглеждано като плоскопаралелно). Да допуснем, че магнитната му проницаемост μ е постоянна и да разложим $\overrightarrow{H_o}$ на две компоненти, съответно по дългата ос $2a$ на елипсоида – H_{oa} и по късата му ос $2b$ – H_{ob}:

$$H_{oa} = \left|\overrightarrow{H_o}\right| cos\,\alpha \,, \qquad (1)$$

$$H_{ob} = \left|\overrightarrow{H_o}\right| cos\left(\alpha - \pi/2\right) = \left|\overrightarrow{H_o}\right| sin\,\alpha \,. \qquad (2)$$

Отчитаме ъглите от съответната положителна полуос на елипсоида до положителната страна на $\overrightarrow{H_o}$, като считаме за положителна посоката, обратна на часовниковата стрелка. При това обозначаваме с α ъгъла между положителните посоки на оста $2a$ и $\overrightarrow{H_o}$. Резултантното магнитно поле H_a в тялото по оста $2a$ според Шимони (1964) е

$$H_a = \frac{H_{oa}}{1 + \dfrac{ab^2}{2}(\mu_r - 1)A_1}\,, \qquad (3)$$

където

$$A_1 = \int_0^{\infty} \frac{ds}{\left(s + a^2\right)\left(s + b^2\right)\sqrt{s + a^2}}\;; \qquad (4)$$

a е дългата, а b – късата полуос на елипсоида;

s – параметър, характеризиращ елипсоид, представен в конфокални координати.

Оттук следва, че компонентата на размагнитващото поле H'_a по оста $2a$, определена от намагнитеността на тялото по същата ос е

$$H'_a = H_{oa} - H_a . \tag{5}$$

В (5) считаме, че положителната посока на H'_a е обратна на посоката на H_{oa}. Намира се намагнитеността J_a по оста $2a$:

$$J_a = (\mu_r - 1)H_a . \tag{6}$$

Като се има предвид, че елипсоидът е хомогенно намагнитен, се изчислява магнитният му момент по оста $2a$ по формулата

$$p_a = J_a V , \tag{7}$$

където $V = \frac{4}{3}\pi ab^2$ е обемът на ротационния елипсоид.

За компонентата на полето H_{ob}, успоредна на късата ос $2b$ на елипсоида (която не е неговата ротационна ос) се получава аналогично

$$H_b = \frac{H_{ob}}{1 + \frac{ab^2}{2}(\mu_r - 1)A_2} , \tag{8}$$

където H_b е резултантното магнитно поле в тялото по оста $2b$;

$$A_2 = \int_0^{\infty} \frac{ds}{\left(s + b^2\right)^2 \sqrt{s + a^2}} . \tag{9}$$

Намира се намагнитеността J_b по оста $2b$:

$$J_b = (\mu_r - 1)H_b . \tag{10}$$

Изчислява се магнитният му момент по оста $2b$ по формулата

$$p_b = J_b V . \tag{11}$$

Да разрежем елипсоида чрез равнини, перпендикулярни на оста $2a$ на елементи с дебелина $d\ell_a$ и обем dV_a. Всеки от тях има магнитен момент $\overrightarrow{dp_a}$ и в него се създава въртящ момент

$$\overrightarrow{dM_a} = \overrightarrow{dp_a} \times \overrightarrow{B_o} = \left(\overrightarrow{J_a} \times \overrightarrow{B_o}\right) dV_a .$$

Ако вземем предвид,че $\overrightarrow{J_a} = const.$ за целия обем на елипсоида, намираме електромагнитния момент $\overrightarrow{M_a}$, дължащ се на намагнитеността по оста $2a$:

$$\overrightarrow{M_a} = \int_V \left(\overrightarrow{J_a} \times \overrightarrow{B_o}\right) dV_a = \overrightarrow{J_a} V \times \overrightarrow{B_o} = \overrightarrow{p_a} \times \overrightarrow{B_o} \tag{12}$$

Целият въртящ момент на елипсоида е

$$\vec{M} = \overrightarrow{p_a} \times \overrightarrow{B_o} + \overrightarrow{p_b} \times \overrightarrow{B_o} \tag{13}$$

$$\begin{aligned} M &= p_a \left|\overrightarrow{B_o}\right| \sin\alpha + p_b \left|\overrightarrow{B_o}\right| \sin\left(\alpha - \pi/2\right) = \\ &= \left|\overrightarrow{B_o}\right| \left(p_a \sin\alpha - p_b \cos\alpha\right). \end{aligned} \tag{14}$$

Замества се J_a от (6) в (7) и J_b от (10) в (11). Така получените изрази за p_a и p_b се заместват в (14):

$$M = (\mu_r - 1)\left|\overrightarrow{B_o}\right| V \left(H_a \sin\alpha - H_b \cos\alpha\right) \tag{15}$$

Заместват се H_a и H_b от (3) и (8), като се отчитат (1) и (2):

$$\begin{aligned} M &= (\mu_r - 1)\left|\overrightarrow{B_o}\right| \left|\overrightarrow{H_o}\right| . V . \sin\alpha . \cos\alpha \times \\ &\times \left[\frac{1}{1 + \frac{ab^2}{2}.(\mu_r - 1)A_1} - \frac{1}{1 + \frac{ab^2}{2}.(\mu_r - 1)A_2} \right] \end{aligned} \tag{16}$$

$$\begin{aligned} M &= \frac{V}{4}.(\mu_r - 1)^2 \left|\overrightarrow{B_o}\right| \left|\overrightarrow{H_o}\right| . \sin 2\alpha \times \\ &\times \left\{ \frac{ab^2 (A_2 - A_1)}{\left[1 + \frac{ab^2}{2}.(\mu_r - 1).A_1\right].\left[1 + \frac{ab^2}{2}.(\mu_r - 1).A_2\right]} \right\} \end{aligned} \tag{17}$$

Очевидно за $\alpha = k\frac{\pi}{2}$ ($k = 0,1,2,3,...$), т.е. когато $\overrightarrow{H_o}$ е успореден на някоя от осите на елипсоида, моментът M е равен на нула.

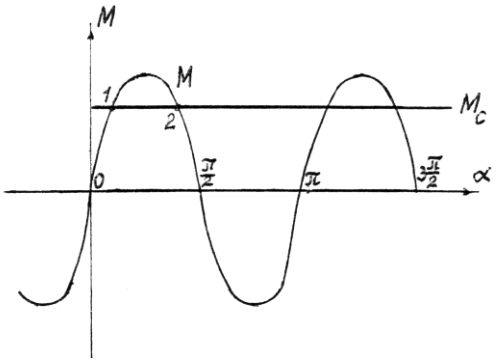
Във въртящо се магнитно поле този момент се проявява като реактивният момент в синхронната машина. В случая α е моментната стойност на ъгъла между положителната страна на оста $2a$ и положителната посока на $\overrightarrow{H_o}$, като ъгълът се отчита от оста към $\overrightarrow{H_o}$. Видът на момента M във функция от ъгъла α е показан на Фиг. 2.

Когато $M > 0$, частицата е в двигателен, а при $M < 0$ тя е в спирачен режим и тогава моментът действа в посока, обратна на въртенето на полето. Началното завъртане на

частицата чрез момента M е възможно, ако тя е достатъчно малоинерционна. При инертна частица α непрекъснато се изменя и затова средната стойност на M, е равна на нула. В този случай развъртането се извършва чрез момента на вихровите токове и чрез хистерезисния момент, след което частицата лесно влиза в синхронизъм ($\alpha = const.$), понеже се увеличават съществено периодите, през които M е еднопосочен. Ъгълът α е нула при липса на триене и големината му зависи от съпротивителния момент. Равновесието, при което $\alpha = const.,\ M = const.$, се установява в пресечната точка на момента M със съпротивителния момент M_c, Фиг. 3. Нека първо разгледаме равновесието в точка 1. Ако по някаква причина α нарасне, т.е. частицата увеличи изоставането си спрямо външното поле, M расте, така че $M > M_c$ и това довежда до намаляване на α. Ако пък по някаква причина α намалее, то $M < M_c$ и α отново нараства. Очевидно това устойчиво поведение се дължи на факта, че около точка 1

$$\frac{dM}{d\alpha} > 0,$$

така че промените на α и на M са еднопосочни.



Фиг. 2.

В точка 2 не може да има устойчиво равновесие. Например, ако α нарасне, $M < M_c$ и α продължава да нараства. Следователно устойчиво равновесие има само в областите, където $\frac{dM}{d\alpha} > 0$. Това е диапазонът, в който $0 \le \alpha < \frac{\pi}{4}$. Това означава, че при липса на съпротивителен момент може да има устойчиво равновесие, когато дългата ос $2a$ е успоредна на външното поле $\overrightarrow{H_0}$, защото там $\alpha = 0$ и $\frac{dM}{d\alpha} > 0$. Същевременно, ако късата ос $2b$ е успоредна на $\overrightarrow{H_0}$, равновесието е неустойчиво, защото за $\alpha = \frac{\pi}{2},\ \frac{dM}{d\alpha} < 0$. Ако се вземе предвид целият диапазон $0 \le \alpha < 2\pi$ се обобщава, че устойчиво въртене в двигателен режим със синхронна скорост има само ако $0 \le \alpha < \frac{\pi}{4},\ \pi \le \alpha < 5\frac{\pi}{4}$. Когато $M < 0$ имаме спирачен режим и при въртене със синхронна скорост частицата отдава енергия на възбудителя на полето. В този случай условието за устойчивост се изпълнява при

$$-\frac{\pi}{4} < \alpha \le 0,\ 3\frac{\pi}{4} < \alpha \le \pi.$$

Условията за устойчивост могат да се формулират и по друг начин. Разглеждаме осите на елипсоида като обикновени прави – без положителни и отрицателни посоки. Дефинираме α като по-малкия ъгъл между положителната посока на полето $\overrightarrow{H_0}$ и дългата ос на елипсоида. Отчитането на α е от дългата ос към положителната посока на $\overrightarrow{H_0}$. Положителни са ъглите в посоката на въртене на $\overrightarrow{H_0}$. Тогава условията за устойчивост са:

- за двигателен режим $0 \le \alpha < \frac{\pi}{4}$

- за спирачен режим $-\frac{\pi}{4} < \alpha \le 0$.

В граничните случаи $\alpha = \frac{\pi}{4}$ и $\alpha = -\frac{\pi}{4}$ има неустойчиво равновесие. Там $\frac{dM}{d\alpha} = 0$ и в околностите на разглежданите точки $|M| < |M_c|$. Ако например при двигателен режим $(\alpha = \pi/4)$ α нарасне, $M < M_c$ и α продължава да расте. Поради това M продължава да намалява. Намалява честотата на въртене и средната стойност на M се анулира. Ако пък α намалее, $M < M_c$ и α нараства, докато отново $\alpha = \frac{\pi}{4}$.

Получените зависимости позволяват точното определяне на полето в частицата и в нейната околност. Това дава възможност за точното определяне на електромагнитния й момент и на някои величини на вихровата машина, зависещи от полето във всяка точка на активния й обем, след поставянето на феромагнитните работни частици.

Литература

Шимони, К. 1964. *Теоретическая электротехника.* М., Мир, 773 с.

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 109-111

Изчисляване на някои електромагнитни параметри и величини на вихрова машина

Константин Костов, Константин Тричков

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

РЕЗЮМЕ. Въз основа на радиалната компонента на магнитната индукция по обвода на индуктора се намира магнитният поток за един полюс на явнополюсна и неявнополюсна вихрова машина. Чрез него се изчислява електродвижещото напрежение и индуктивното съпротивление. Резултатите за магнитния поток и за електродвижещото напрежение са във Фуриеров ред. Това дава възможност да се получат формулите за главното индуктивно съпротивление и за индуктивното съпротивление на диференциалното разсейване.

CALCULATING SOME ELECTROMAGNETIC PARAMETERS AND MAGNITUDESOF A VORTEX MACHINE
ABCTRACT. Based on the radial component of magnetic induction along the inductor rim, the magnetic flux of a pole is determined respectively for a salient-pole and non-salient-pole vortex machine. Then the electromotive force and inductive reactance are calculated. Results obtained for the magnetic flux and electromotive force are expressed as Fourier series. This permits to obtain expressions for the main inductive reactance and the inductive reactance of the differential dispersion.

Вихровата машина е устройство, създаващо въртящо се магнитно поле. В активния му обем се поставят феромагнитни работни частици и обработваем материал. Въртящо се магнитно поле въздейства върху работните частици, които от своя страна осъществяват процеса вихрова обработка, описан в Логвиненко и Шеляков (1976).

Изразите за магнитния интензитет за всеки момент при нулева начална фаза на тока на фаза А са изведени в Костов (1977). Радиалната и тангенциалната компоненти на магнитния интензитет са

$$H_{r\nu} = H_\nu \sin(\omega t \mp \nu p\alpha) \text{ и} \qquad (1)$$

$$H_{\alpha\nu} = \mp H_\nu \cos(\omega t \mp \nu p\alpha), \qquad (2)$$

където:

$$H_\nu = \frac{\nu p r^{\nu p-1}}{R^{\nu p}} F_\nu = \sqrt{2} k_{w\nu} A \left(\frac{r}{R}\right)^{\nu p-1} \qquad (3)$$

е амплитуда на ν - тия хармоник на вектора на полето;

$F_\nu = \frac{\sqrt{2}}{\nu p} k_{w\nu} AR$ е амплитуда на ν -тия хармоник на м.д.н. за един полюс;

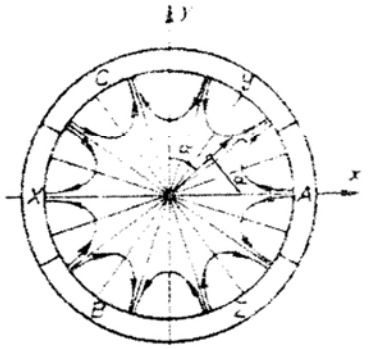
p – брой на чифтовете полюси;

$k_{w\nu}$ – коефициент на намотката за ν -тия хармоник;

A – линейно токово натоварване;

R – радиус на индуктора, равен на половината на активния диаметър D.

В изразите (1) и (2), както и по-долу, горните знаци се отнасят за правите, а долните – за обратните хармоници. Текущият радиус се отчита от началото на координатната система, а текущият ъгъл – от оста Y в посоката на въртене на основния хармоник (по часовниковата стрелка). На Фиг.1 е показан пример на картината на магнитното поле при $t = 0$ и $\nu = 5$ с означенията на α и r.



Фиг. 1.

За изчисляването на магнитния поток за един полюс е необходима радиалната компонента на магнитния интензитет по обвода на индуктора. От (1) и (3) за $r = R$ се получава

$$H_{R\nu} = \sqrt{2} k_{w\nu} A \sin(\omega t \mp \nu p\alpha) = \\ = H_{R\nu} \sin(\omega t \mp \nu p\alpha), \qquad (4)$$

където $H_{R\nu} = \sqrt{2} k_{w\nu} A$.

Намираме магнитния поток за едно полюсно деление на ν -тия хармоник на полето:

$$\Phi_{R\nu t} = \mu_o l_\delta \int_0^{\pi/\nu p} H_{R\nu t} R d\alpha =$$

$$= \mu_o \sqrt{2} k_{w\nu} A l_\delta R \int_0^{\pi/\nu p} \sin(\omega t \mp \nu p\alpha) d\alpha$$

$$= \mp \mu_o \sqrt{2} A l_\delta D \frac{k_{w\nu}}{\nu p} \cos \omega t = \mp \Phi_{R\nu} \cos \omega t , \qquad (5)$$

където:

$$\Phi_{R\nu} = \mu_o \sqrt{2} A \ell_\delta D \frac{k_{w\nu}}{\nu p} \qquad (6)$$

е максималната стойност на магнитния поток;

μ_o – магнитна проницаемост на въздуха;

ℓ_δ – изчислителната дължина на индуктора, която има същия физически смисъл като при нормалните електрически машини и може засега да се приеме, че е равна на активната дължина на индуктора. Както трябва да се очаква, изразът (5) показва, че за дадено полюсно деление, неподвижно свързано със статора, ще се променя с основната честота, тъй като при ν пъти по-малка скорост на въртене полюсите са ν пъти повече.

От (4) се вижда още, че във всеки момент радиалната компонента на магнитния интензитет е разпределена синусоидално по обвода на индуктора. Това дава възможност да се приложи известната формула за ефективната стойност на ν-тия хармоник на е.д.н.:

$$E_\nu = \pi \sqrt{2} f w k_{w\nu} \Phi_{R\nu} .$$

След като се замести $\Phi_{R\nu}$ от (6), се получава

$$E_\nu = 2\pi \mu_o f \frac{k_{w\nu}^2}{\nu p} w \ell_\delta D A . \qquad (7)$$

Ако вземем предвид, че $A = \frac{2mwl}{\pi D}$, изразът (7) придобива вида

$$E_\nu = 4\mu_o m f \frac{w^2 k_{w\nu}^2}{\nu p} \ell_\delta I , \qquad (8)$$

където:

m е брой на фазите;

w – брой на навивките за една фаза;

I – фазов ток.

За индуктивното съпротивление на самоиндукция от ν-тия хармоник на полето е валиден изразът

$$x_\nu = \frac{E_\nu}{I} = 4\mu_o m f \frac{w^2 k_{w\nu}^2}{\nu p} \ell_\delta . \qquad (9)$$

Във формула (8) не участва диаметърът. Това обаче не означава, че x_ν не зависи от него. Наистина, от (4) и (7) може да се определи

$$w = \frac{\nu p E_\nu}{\pi \sqrt{2} f k_{w\nu} \ell_\delta D B_{R\nu}} . \qquad (10)$$

След като се замести w в (8), се получава

$$x_\nu = 2\mu_o m \frac{\nu p E_\nu^2}{\pi^2 f \ell_\delta D^2 B_{R\nu}^2} . \qquad (11)$$

Следователно x_ν зависи и от диаметъра D и от активния обем $\pi \ell_\delta D^2/4$, но по друг начин в сравнение с нормалните електрически машини за променлив ток. Може да се изчисли потокът $\Phi_{A\nu t}$ на ν-тия хармоник, който се сцепва в момента t например с фаза А:

$$\Phi_{A\nu t} = \mu_o l_\delta \int_{\pi/3p}^{2\pi/3p} H_{R\nu t} R d\alpha =$$

$$= \mu_o H_{R\nu} R l_\delta \int_{\pi/3p}^{2\pi/3p} \sin(\omega t \mp \nu p\alpha) d\alpha = \qquad (12)$$

$$= \mp \frac{\mu_o}{\nu p} H_{R\nu} R l_\delta \cos \omega t$$

Изразът (12) показва, че едноименните хармоници на потока за една фаза съвпадат по фаза, а разноименните са в противофаза. Същевременно разноименните хармоници се въртят в обратни посоки. Следователно техните е.д.н. са във фаза, ако и $k_{w\nu} > 0$. Ако за някой хармоник $k_{w\nu} < 0$, това води до смяна на знака на $H_{R\nu}$, който съгласно (12) определя знака на Φ_ν. Но $k_{w\nu}$ участва и в израза за E_ν и това довежда отново до извода, че е.д.н. на всички хармоници от една фаза не са изместени помежду си във времето. Това можеше да се предвиди, защото в (7) участва квадратът на $k_{w\nu}$. Следователно ефективната стойност на общото е.д.н. на самоиндукция за една фаза ще бъде равно на аритметичната сума от е.д.н. на отделните хармоници. Като се вземат под внимание изразите (7) и (8) се получава съответно:

$$E = 2\pi \mu_o w l_\delta D A \frac{f}{p} \left(k_{w1}^2 + \frac{k_{w5}^2}{5} + \frac{k_{w7}^2}{7} + \right.$$
$$\left. + \frac{k_{w11}^2}{11} + \frac{k_{w13}^2}{13} + \ldots \right) \qquad (13)$$

$$E = 4\mu_o m w^2 l_\delta \frac{f}{p} I \left(k_{w1}^2 + \frac{k_{w5}^2}{5} + \frac{k_{w7}^2}{7} + \right.$$
$$\left. + \frac{k_{w11}^2}{11} + \frac{k_{w13}^2}{13} + \ldots \right), \qquad (14)$$

Тъй като потоците на пространствените висши хармоници обуславят диференциалното разсейване, може в съответствие с (7), (8), (13) и (14) да бъдат написани изразите за основното е.д.н. E_1 и за главното индуктивно съпротивление x_1, както следва:

$$E_1 = 2\pi\mu_o f \frac{k_{w1}^2}{p} w \ell_\delta DA, \tag{15}$$

$$E_1 = 4\mu_o mf \frac{w^2 k_{w1}^2}{p} \ell_\delta I, \tag{16}$$

$$x_1 = \frac{E_1}{I} = 4\mu_o mf \frac{w^2 k_{w1}^2}{p} \ell_\delta . \tag{17}$$

В съответствие със същите изрази, за е.д.н. $E_Д$ и за индуктивното съпротивление от диференциалното разсейване $x_Д$ може да се напише

$$E_Д = 2\pi\mu_o w l_\delta DA \frac{f}{p}\left(\frac{k_{w5}^2}{5} + \frac{k_{w7}^2}{7} + \right.$$
$$\left. + \frac{k_{w11}^2}{11} + \frac{k_{w13}^2}{13} + \ldots \right), \tag{18}$$

$$E_Д = 4\mu_o mw^2 l_\delta \frac{f}{p} I\left(\frac{k_{w5}^2}{5} + \frac{k_{w7}^2}{7} + \right.$$
$$\left. + \frac{k_{w11}^2}{11} + \frac{k_{w13}^2}{13} + \ldots \right), \tag{19}$$

$$x_Д = 4\mu_o mw^2 l_\delta \frac{f}{p}\left(\frac{k_{w5}^2}{5} + \frac{k_{w7}^2}{7} + \right.$$
$$\left. + \frac{k_{w11}^2}{11} + \frac{k_{w13}^2}{13} + \ldots \right) \tag{20}$$

Получените формули за основния магнитен поток, основното е.д.н., главното индуктивно съпротивление и индуктивното съпротивление на диференциалното разсейване са важна стъпка за окончателното изясняване на параметрите на електромагнитната система на вихровата машина.

Литература

Костов, К. 1987. *Многополюсно въртящо се магнитно поле при отсъствие на вторична среда.* – Научна сесия "ВМЕИ "Ленин" '87", С.

Логвиненко, Д, О.Шеляков. 1976. *Интенсификация технологических процессов в аппаратах с вихревым слоем.* Киев, "Техника", 142 с.

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 113-117

Двуканално устройство за събиране на данни

Здравко Илиев, Диана Дечева

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

РЕЗЮМЕ. Разработено е миниатюрно устройство с батерийно захранване за отдалечено събиране и съхранение на данни от датчици с унифициран изходен сигнал. Устройството предлага възможност за запис на натрупаната информация в стандартен текстов файл, пряк интерфейс с EXCEL или друга специализирана програма и визуализация на процесите в реално време.

TWO CHANNEL DEVICE FOR COLLECTION OF INFORMATION
ABSTRACT. A mini device has been designed. It is activated by battery supply in order remote collection and retention of data from sensors with unified output signal. The device has the capacity of saving the accumulated information in a standard text file, direct EXCEL interface or other specialized software and visualization of the processes in real time.

I. Състояние на проблема. Постановка на задачата

Събирането на информация за хода на технологичните процеси е традиционна и ежедневно извършвана инженерна дейност. Автоматизацията и е свързана с използване на специализирани устройства, известни като "системи за събиране на данни". Едно от направленията на тяхното развитие се явяват устройствата за отдалечено събиране на данни, известни под наименованието "дейталогъри". Тяхното основно предназначение е осъществяване на измервания през определен времеви интервал и натрупване на база от данни с цел последваща обработка или архивиране. Устройствата от този тип са механични или електронни.

Механичните устройства се използват в специални случаи, когато целенасочено се избягва употребата на компютърни устройства и резултатите от измерванията трябва да се регистрират директно на хартиен носител.

Днес, почти всички разработвани и предлагани системи са електронни и използват компютърен интерфейс. Наблюдава се и тенденция за навлизане на безжичните технологии. Основното им приложение до момента е като наблюдатели на температура при превоз на стоки (http://www.evidencia.biz/what-is/types.htm). Някои от моделите позволяват и отдалечен достъп при събиране на данни, които могат да бъдат наблюдавани в реално време.

Развитието на електронните технологии предопределя следните направления в усъвършенстването на системите за отдалечено събиране на данни:

- все по-голяма минитюаризация, която облекчава монтажа им в труднодостъпни места;
- намаляване на консумацията, като по този начин се създават възможности за увеличаване на продължителността на непрекъснатата им работа и използването им на места, където не може да бъде осигурено захранващо напрежение;
- увеличаване на количеството запомняна информация;
- въвеждане на допълнителни функции, свързани с конкретни приложения като: анализ на данни, прогнозиране, откриване на аварийни състояния, селективност при съхраняване на информацията и др.

Значителна част от предлаганите устройства за отдалечено събиране на данни са специализирани за измерване на конкретни технологични величини, най-често температура и влажност (http://www.omega.com http://www.tequipment.net и др.). Конфигурирането на други се извършва от производителя на база опционни заявки (http://www.MicroDAQ.com, http://www.mathtools.net и др.), конкретизиращи интервал на измерване, диапазон и тип на входния сигнал и др. Предлагат се и свободно програмируеми измервателни устройства, при които параметрите на работа се задават чрез персонален компютър. В много случаи устройствата притежават характеристики, присъщи на няколко от разгледаните основни групи. Примерно опционно задаване на типа на входния сигнал и диапазон на изменение, и програмиране на останалите величини като начален момент на измерванията и интервал на дискретизация.

Съвременните системи за отдалечено събиране на данни се различават не само по начина на задаване на условията на измерванията, но и по редица други характеристики:

- брой на аналоговите входни канали, вариращи от 1 до 8, като най-често са 1, 2 или 4;
- разрядност на вградените аналого-цифрови преобразуватели (АЦП), определящи точността на преобразуването - най-честите реализации са с 12-битови АЦП, но се срещат и устройства с 8- или 16-битови преобразуватели;
- начин на захранване - батерийно от 3 до 9 V или чрез стабилизатор от промишлената мрежа;
- максимален брой съхранявани данни от измервания – най-често от 3840 до 32768;
- цена, вариращa от 240 до 900 долара, в която не винаги се включва специализирания софтуер.

Основните недостатъци на предлаганите системи за отдалечено събиране на данни са свързани с обстоятелството, че за да се минимизира размерът и цената им, се залага на използване на по-сложен софтуер в персоналния компютър. Много малко са преносимите устройства в които се предвиждат средства за визуализация на измерваните величини в реално време или за промяна на параметрите на измерванията. Това създава проблеми в случаите, когато няма непрекъснат достъп до персонален компютър, а се налага изменение на някой параметър за настройка. Сравнително рядко се срещат и устройства, които позволяват запис на данните в стандартен текстов файл, което затруднява интерпретирането и обработката на информацията извън специализираната програмна среда.

Всичко това определя необходимостта от разработване на автоматизирани системи за отдалечено събиране на данни, които да съчетават:

- възможност за измерване на разнообразни по физическата си същност технологични величини в широк диапазон на изменение;
- възможност за промяна на условията на провеждане на измерванията, пряко от самото устройство или чрез персонален компютър;
- съхранение на информацията във вид, позволяващ обработка с разнообразни програмни средства;
- визуализация на измерените величини в реално време;
- относително ниска цена.

II. Характеристики на разработеното устройство за отдалечено събиране и натрупване на данни от измервания

II.1. Функционални възможности.

Разработеното портативно устройство позволява:

- въвеждане на информация от сензори със стандартен напреженов или токов изходен сигнал;
- визуализация на текущите стойности на измерваните физически величини;
- усредняване на измерванията в рамките на зададен времеви интервал;
- съхраняване на усреднените показания във вътрешната памет на устройството;
- пакетно предаване на натрупаната информация към персоналния компютър;
- запис на данни в стандартен текстов формат, позволяващ обработка с различни програмни продукти;
- поддържане на астрономическо време и обвързването му с момента на провеждане на конкретните експерименти.

Устройството за отдалечено събиране и натрупване на данни може да се използва:

- за контрол за протичането на конкретни процеси за определен период от време;
- при провеждане на серии от измервания на различни по своята физическа същност обекти.

При първото приложение не се налага честа промяна на диапазона на изменение на измерваните физически величини, докато при второто това е наложително. Поради това устройството е разработено в два варианта (*DlogMF1 и DlogMF2*).

II.2. Режими на работа.

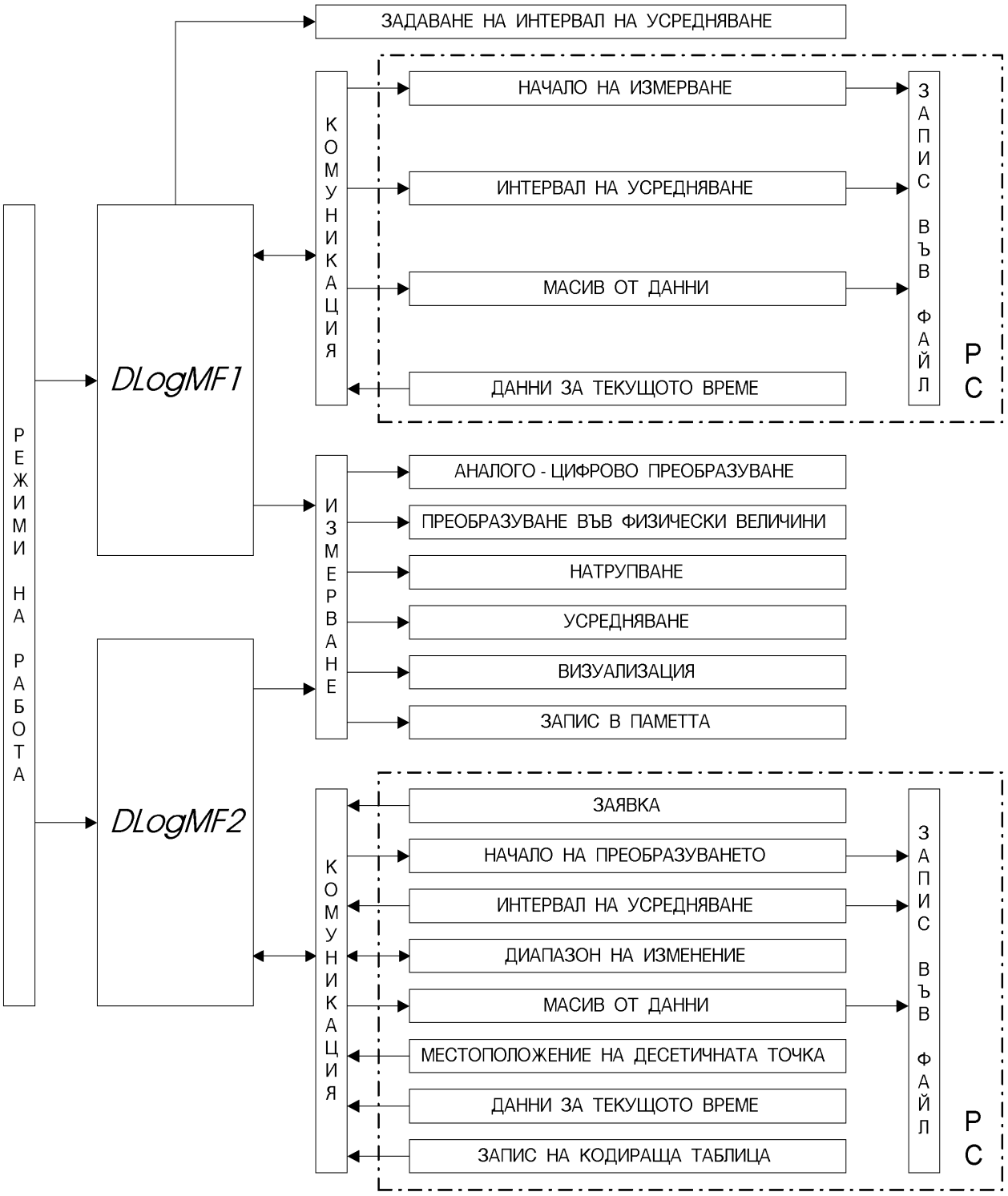
Функциите, реализирани при всеки от възможните режими на работа са представени на фигура 1.

Въпреки, че и при двата варианта на устройството се решават сходни задачи, съществуват съществени различия в конкретната им реализация. Те са представени в Таблица 2 и са обусловени от различните условия на приложение на устройството.

За изключване на неточности в календарното време, фиксирано като начало на измерването, е предвидено автоматично сверяване на часовника за реално време. То се извършва на база на допълнителен пакет информация, предавана от персоналния компютър към устройството в края на всеки обмен на данни.

Таблица 1.
Основни характеристики на DLogMF1 и DLogMF2

Показатели	***DLogMF1***	***DLogMF2***
Брой измервателни канали	2	2
Интервал на дискретизация	1 sek	1 sek
Интервал на усредняване	до 240 sek	до 240 sek
Начин на задаване на интервала на усредняване	От самото устройство	Чрез персонален компютър
Диапазон на измерваните величини	от 0 до 999	От 0 до 999999 свободно програмируем
Начин на задаване на диапазона на измерване	Твърдо програмиран в устройството за всеки канал	Чрез персонален компютър
Точност на визуализация на резултатите от измерване	0,1 от измерената физическа величина	Различен в зависимост от диапазона на измерване, при брой значещи цифри – 6
Максимален брой измервания за всеки канал	8186	10916
Максимална продължителност на измерването при минимален интервал на дискретизация	4 часа и 55 минути	3 часа и 3 минути



Фиг. 1. Основни характеристики на DLogMF1 и DLogMF2

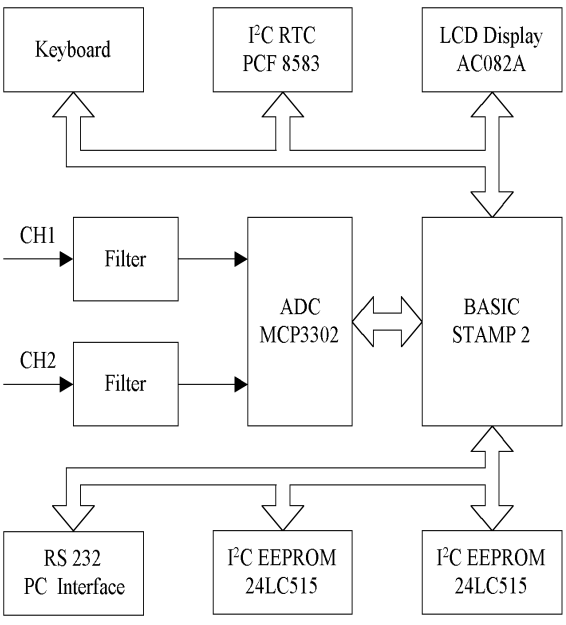
Таблица 2.

Особености в реализацията на основните функции

Функция	***DLogMF1***	***DlogMF2***
Преобразуване от 12-битово шестнадесетично число във физически величини	Използва се зависимостта: $\tilde{x} = x_{\min} + \frac{x_{\max} - x_{\min}}{4095} x$, където: x е 12-битово число, явяващо се резултат от аналого-цифровото преобразуване; $\tilde{x}$ е резултатът, представен в съответната физическа величина, изменяща се в диапазона от $x_{\min}$ до $x_{\max}$	Използва се прекодираща таблица, предварително записана в EEPROM.
Натрупване на данните в паметта	Запаметяват се стойностите на усреднените показатели, представени с ASCII кодовете на съставящите ги символи	Запаметяват се усреднените, непреобразувани във физически величини, резултати от аналого-цифровото преобразуване
Визуализация	Измерените стойности се представят в 4 разряда, като най-младшия от тях е предназначен за дробната част.	Измерените стойности се представят чрез 6 значещи цифри, като мястото на десетичната точка не е предварително фиксирано. То зависи от диапазона на изменение на физическата величина.
Обем на информационния обмен между устройството и персоналния компютър	Включва: - условията при които са били осъществени последните измервания (дата, час, минути, секунди на стартиране на измерването и интервал на усредняване); - съхранените усреднени показатели; - данни за настройка на часовника за реално време.	Освен посоченото при DlogMF1, включва: - заявки за типа на комуникационния обмен; - кодиращи таблици; - местоположение на десетичната точка при визуализация на данните за всеки канал

III. Особености на хардуерната и софтуерната реализация

Функционалната схема на разработените устройства за отдалечено събиране на данни е представена на фиг. 2.



Фиг. 2. Функционална схема

Входните сигнали са еднополярни и могат да бъдат:
- напреженови от 0 - 5 или 0 - 10 V;
- токови в един от следните диапазони 0 - 5, 0 - 20 или 5 - 20 mA.

Задаването на конкретния им тип се извършва чрез включване на съответната конфигуриращa приставка.

След филтриране, входните сигнали, се подават на 13-битовия аналого-цифров преобразувател на Microchip MCP3302 (ftp://ftp.microchip.com). Схемата поддържа стандартен SPI™ сериен интерфейс, който осигурява пълна съвместимост при работа с останалите интегрални схеми.

Ядро на системите е микроконтролерът BASIC STAMP2 (http://www.parallax.com). Той разполага с:
- 16 входно-изходни шини за събиране на информация и формиране на управляващи сигнали към устройства от произволен тип;
- 2K програмна памет;
- 32 байта RAM памет
- вграден RS 232 сериен интерфейс за връзка с персонален компютър;
- вграден стабилизатор на напрежение.

Изпълнението на програмата се осъществява под управлението на BASIC интерпретатор, записан в паметта на контролера. Системата от инструкции позволява лесна реализация и I²C™ и SPI™ протоколи за сериен обмен на информация.

Усреднените в рамките на зададен времеви интервал резултати от проведените измервания се съхраняват в CMOS серийни I²C™ EEPROM памети от тип 24LC515,

позволяващи бърз достъп за запис и четене на блокове от данни. Наличието на възможност за извършване на 100000 цикъла на запис, съгласно каталожните данни (ftp://ftp.microchip.com), осигурява безпроблемна 25 годишна експлоатация на устройството.

Информация за режима на работа и текущите стойности на измерваните величини се визуализират на 2x8 буквено-цифров LCD дисплей.

Връзката на измервателния процес с реалното астрономическо време се осъществява чрез вградения часовник PCF8583(http://www.semiconductors.philips.com). Той, както и останалите използвани интегрални схеми, се управлява чрез сериен I²C™ интерфейс, с което значително се опростява хардуерната реализация и се минимизира броя на използваните входно-изходни портове на контролера.

Управлението на работата на устройството се осъществява по различен начин при двете модификации. DLogMF1 разполага с функционална клавиатура, състояща се 4 бутона. Чрез тях се извършва избор на режима на работа и интервала на усредняване. На лицевия панел на DLogMF2, освен LCD дисплея, има само един трипозиционен ключ, задаващ неработно състояние, режим на измерване или режим на комуникация.

Захранването на устройството се извършва с обикновена 9-волтова батерия чрез вградения в микроконтролера стабилизиран изправител. Ниската средна консумация от около 3 mA в активен режим на запис на данни, позволява непрекъсната работа без смяна на батерията около 1 месец.

Програмното осигуряване на устройството е разработено на PBASIC.

Специализираната програма, предназначена за изпълнение от персоналния компютър е реализирана в средата на VISUAL C++. Тя позволява:

- избор на активния сериен порт чрез избор от списък;
- задаване интервал на усредняване директно или чрез скролиране;
- определяне на диапазона на изменение на физическите величини за всеки канал;
- задаване на име на резултантния файл чрез използване на стандартен диалогов прозорец;
- формиране и изпращане на кодиращи таблици;
- визуализация чрез Progress Bar на хода на процеса на извличане на данни от устройството или предаване на кодиращи таблици;
- запис на информацията в стандартен текстов файл.

Потребителският интерфейс е проектиран в съответствие с възприетите стандарти за изграждане на Windows приложения.

IV. Заключение

Разработеното устройство притежава характеристики и възможности, които съчетават най-добрите качества на системите за отдалечено събиране на данни от този клас. То може да бъде използвано в различни приложения, по характерните от които са:

- измерване, визуализация в реално време и запис на различни по вид физични величини;
- документиране на чистото работно време или натоварването на дадено устройство или агрегат;
- регистрация на събития и аварийни състояния;
- натрупване на бази от данни с цел анализ и оптимизация на често повтарящи се процеси.

Устройството може да се използва и като елемент от системите за местен контрол и автоматизация. Приложението му при изследване работата на машини и агрегати значително може да облекчи и повиши качеството на експерименторската дейност.

Литература

http://www.dicksonweb.com/matrix/static_matrix_7.php
http://www.tequipment.net/AEMCDataLoggers.html
http://www.bidservice.com/Browses/NF_browse_test.asp?keywords=data%20logging
http://dataloggers.biz/pricelist-microdaq.php
http://www.audon.co.uk/data_acq.html
http://www.mathtools.net/Excel/Data_Acquisition/Application_and_Industry/Data_Loggers/
http://www.evidencia.biz/what-is/types.htm
http://www.omega.com/toc_asp/subsectionSC.asp?subsection=E01&book=DAS
http://www.parallax.com
ftp://ftp.microchip.com
http://www.semiconductors.philips.com/pip/PCF8583U.html

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 119-124

Използване на динамични стохастични модели за описание на процеса биологично пречистване на замърсени води

Диана Дечева

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

РЕЗЮМЕ. Представени са динамични стохастични модели, позволяващи определяне на основни параметри на биологичното пречистване в биобасейни като функция от количествените характеристики на постъпващата вода. Доказани са добрите предсказващи свойства на получените модели, чрез определяне на статистическите им характеристики.

USE OF DYNAMIC STOCHASTICS MODELS FOR DESCRIPTION OF THE PROCESS OF BIOLOGICAL CLARIFICATION OF POLLUTED WATER.
ABSTRACT. Here are presented dynamic stochastics models, that allow determination of major parameters of biological clarification in bio-pools as a function of the quantitative characteristics of the incoming water. The predicting parameters of the resulting models are proven via determination of their statistical characteristics.

I. Състояние на проблема

I.2. Същност на биологичното пречистване на отпадни води

В световен мащаб съществува тенденция на непрекъснато нарастване на консумацията на питейна вода. Това води до увеличаване на обема на битовите отпадни води и необходимостта от тяхното ефективно пречистване, с цел опазване на водните течения и басейни.

Основен етап от пречистването на битово замърсени води е биологичното пречистване. При него, чрез жизнената дейност на специално култивирани рекомбинантни щамове, се осъществява превръщане на съдържащите се в отпадните води органични вещества в минерални продукти.

Биологичното пречистване на отпадните води се осъществява в биореактори, които представляват своеобразни изкуствено създадени екологични системи. В тях микроорганизмите използват замърсителите като субстрат за своето развитие. Условията на средата (състав на отпадните води, концентрация на разтворения кислород, температура, PH и др.) определят формиране на специфична биоценоза на култивираната биомаса. Една основна задача на системите за управление на биотехнологичното пречистване е поддържане на такива условия за жизнената дейност на микроорганизмите, които осигуряват висока интензивност на биохимичните процеси.

Поради високата степен на замърсеност на битовите отпадни води (биохимичен потребен кислород $БПК_5$ от 180 до 400 mg/l), за тяхното пречистване обикновено се прилагат аеробни методи. Комплексът съоръжения за аеробна минерализация в Софийска пречиствателна станция включва :

- биобасейни с активна биомаса от бактериални фокули в суспендирано състояние (активна утайка);
- вторични утаители.

Биобасейните са с четири коридора и пневматична финомехурчеста аерация чрез керамични плочи. Водата се подава разсъсредоточено по дължината на втори и трети коридор, като по този начин се контролира степента на регенерация. Основен елемент на технологията за биологично пречистване е рециркулацията на активна утайка. Поради това биобасейна и вторичния утаител представляват органически свързана система (фиг. 1), наричана биостъпало.

I.2. Особеност на биотехнологичните процеси като обект за моделиране и управление

Параметрите на биотехнологичните процеси, могат да се разделят на три групи, характеризиращи съответно :

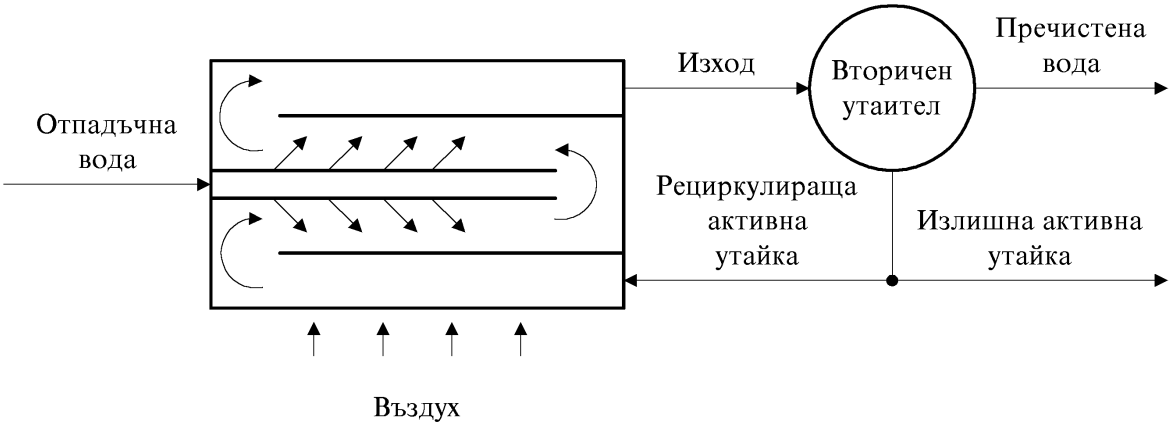
- състоянието на микроорганизмите (концентрация, морфологични особености, скорост на растеж и др);
- биохимичния състав на културната среда (концентрация на хранителни субстрати, разтворен кислород и др.);
- физикохимичните условия (температура на средата, pH и др.).

Управляващите фактори на процеса биологично пречистване на отпадни води са: степен на регенерация, дебит на подавания въздух и дебит на рециркулиращата активна утайка. Изходните величини са: замърсеност на пречистените води (по $БПК_5$ и ХПК) и количество активна утайка. На процеса влияние оказват множество смущаващи въздействия, които условно могат да се разделят на вътрешни и външни. Към външните се отнасят: изменение на състава, дебита, замърсеността, pH и температурата на постъпващата за пречистване вода. Вътрешните смущения са свързани с изменение на физиологичното състояние на микроорганизмите, което се отразява на скоростта на: преработване на хранителната среда, консумация на кислород, топлоотделяне и др.

Биотехнологичните процеси (БТП) се отличават качествено от процесите, протичащи в неживата природа. При тях целевият продукт се получава в следствие на растежа и развитието на живи организми. Затова опитите за механично пренасяне на теорията на управлението на чисто технологичните върху БТП, обикновено не води до желания резултат.

От системна гледна точка, биотехнологичните процеси могат да се разглеждат като нелинейни, нестационарни обекти за управление с непълна информация, чиито статични и динамични характеристики се изменят в широки граници (Цонков Ст. и Филев Д., 1992). Тяхното моделиране и управление се затруднява от:

- отсъствие на датчици и анализатори за непрекъснат контрол на основни биотехнологични величини като концентрация на биомасата, продукти на метаболизма, компоненти на субстрата и др.;
- липса на задълбочен анализ на влиянието на метаболизма, кинетиката, морфологията и др. върху процесите на управлението и обратно;
- трудности при отчитане на процеса мащабиране, който има съществено значение при пренасяне на резултатите от лабораторни в промишлени условия.



Фиг. 1. Функционална схема на биостъпалото

Поради това, функциите на внедрените системи за управление обикновено се свеждат до автоматично регулиране на количеството подаван въздух или стабилизация на pH. Рядко се правят опити за програмно управление по зададен профил на технологичните параметри.

Внедряването на ефективни системи за управление е пряко свързано с разработване на адекватни модели на процеса биотехнологично пречистване. По този въпрос се работи от средата на 40-те години на миналия век. Бурното му развитие през последното десетилетие е пряко свързано с масовото навлизане на биотехнологиите, развитието на експериментално-статистическите методи и изчислителната техника. Въпреки това, до момента няма разработен цялостен модел на процесите, протичащи при биологичното пречистване, който да е приложим за целите на автоматизацията им.

II. Подходи за моделиране на биотехнологичните процеси

Първият модел, даващ връзка между специфичната скорост на растеж в зависимост от концентрацията на лимитиращия субстрат в културната среда е предложен от Monod през 1942 г. Той спада към групата на кинетичните модели, систематизирани от Бирюков и Кантере, 1985 г. Този тип модели не мога пряко да се използват в системите за автоматизация, но намират приложение при симулиране на обекта на етапа синтез и проектиране на системи за управление. Последните постижения в това направление са свързани с работата на колектив от японски специалисти, разработващи програмна система "Електронна клетка" за създаване на модели на ензимната кинетика (http://www.e-cell.org/manuel).

Структурните модели описват вътрешноклетъчните механизми и отразяват биохимията на клетката. Това определя тяхната сложна структура, големия брой параметри, както и необходимостта от значителен обем експериментални данни за оценяване параметрите на модела. Поради своята сложност и специфичност, те са обект преди всичко на теоретични изследвания.

Bastin и Dochain (1990 г.) предлагат метод за синтез на оперативен модел, наречен от тях "General Dynamical Model". Посочва се, че той може да се използва както при синтез на алгоритми за управление, така и при оценяване на неизмерими кинетични параметри като биомаса, метаболитни продукти и др. До момента има данни за прилагането му при подготовка за внедряване на нови биотехнологги.

При управление на технологичните процеси широко разпространение намират неструктурните модели. Те заменят действителната схема на биохимичните превръщания с приблизителна опростена схема от макрореакции. В тях се използват само величини, които могат да бъдат измерени или анализирани в хода на процеса.

Екип от Чешката академия на науките (http://www.utia.cas.cz) съобщава, че са постигнати много добри резултати при използване на полиномиални модели за описание на биотехнологичния процес получаване на протеини от хлебна мая.

В последните години се правят опити за използване на невронни мрежи при моделиране на биотехнологични процеси. Основните проблеми в това направление са свързани с липсата на точни критерии за избор на структурата на мрежата, необходимостта от голям брой експериментални данни, продължителното време на обучение, невъзможността за екстраполация на резултатите. Въпреки това, с използване на невронни мрежи успешно са разработени модели за оценка на неизмерими параметри на биотехнологични процеси.

Трябва да се отбележи, че видът на модела е пряко свързан с избрания подход за управление (Игнатова, Патаринска, 2002). Това, както и множеството нерешени проблеми, определят разнообразните направления на търсене

на методи за намиране на модели на биотехнологичните процеси.

III.Дискретни входно-изходни модели

III.1. Динамични стохастични модели

Входно-изходните модели позволяват изучавания обект да се разглежда като "черна кутия". Синтезираните зависимости се базират единствено на информацията от измерванията на входните и изходни параметри.

Общият запис на модела на динамична стохастична система има вида:

$$A(z^{-1})y(z) = \frac{B(z^{-1})}{F(z^{-1})}u(z)z^{-n_k} + \frac{C(z^{-1})}{D(z^{-1})}v(z), \qquad (1)$$

където: с u, y и v са означени съответно входа, изхода и смущаващото въздействие,

A, *B*, *C*, *D* и *F* са полиноми по степените на z^{-1}:

$$A(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + ... + a_{n_a} z^{-n_a}$$

$$B(z^{-1}) = b_0 + b_1 z^{-1} + ... + b_{n_b} z^{-n_b}$$

$$C(z^{-1}) = 1 + c_1 z^{-1} + ... + c_{n_c} z^{-n_c}$$

$$D(z^{-1}) = 1 + d_1 z^{-1} + ... + d_{n_d} z^{-n_d}$$

$$F(z^{-1}) = 1 + f_1 z^{-1} + ... + f_{n_f} z^{-n_f},$$

а z^{-1} е оператор за изместване $z^{-j}\{u_i\} = u_{i-j}$.

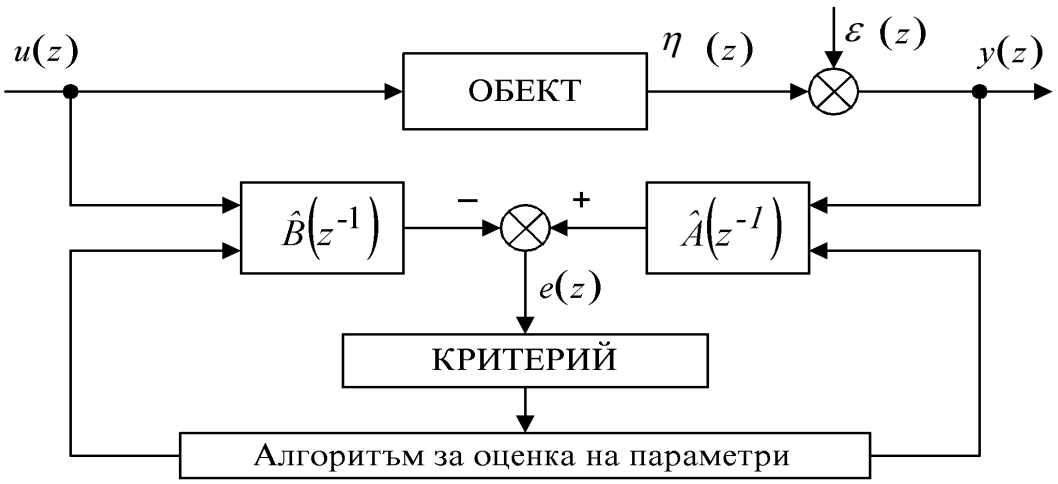
В практиката се прилагат модели, явяващи се частни случаи на общия динамичен модел. Един от най-често използваните е "авторегресия – външен входен сигнал" (ARX), при който полиномите *C*, *F* и *D* са равни на 1. Чрез модел от този тип е извършено описание на основни технологични параметри при пречистване на замърсени води.

III.2. Оценяване на коефициентите в дискретните стохастични модели

За оценяване на коефициентите в полиномите, включени в търсения дискретен стохастичен модел, се използват две групи методи:

- основаващи се на грешката в модела (Equation error methods);
- минимизиращи грешката от предсказание (Predictor error methods).

При търсенето на модели, даващи връзка между основни показатели на био-пречистването на замърсени води, са използвани методи от първата група. Функционална схема, отразяваща механизма на оценка на коефициентите в този случай е представена на фиг. 2.



Фиг. 2. Механизъм на оценяване на коефициентите в динамични стохастични модели

Критерият, който се минимизира е средноквадратичен и има вида:

$$Q(\theta) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} e_i^2(\hat{\theta}) \qquad (2)$$

където:

$$e(z) = \hat{A}(z^{-1})y(z) - \hat{B}(z^{-1}),$$

N е броят на измерените стойности за входа и изхода, а с $\hat{\theta}$ са означени оценките на търсените параметри.

Оценките $\hat{\theta}$ на коефициентите в полиномите, включени в модела са търсени с използване на два метода:

А/ Метод на най-малките квадрати (МНК), реализиращ решаване на матричното уравнение

$$\hat{\theta} = \left(F^T W F\right)^{-1`} F^T W Y, \qquad (3)$$

където: W е диагонална тегловна матрица, *F* има вида

$$F=\begin{vmatrix} -y_{n_a+n_k} & \cdots & -y_{n_k+1} & u_{n_a} & \cdots u_{n_a-n_b+1} \\ -y_{n_a+n_k+1} & \cdots & -y_{n_k+2} & u_{n_a+1} & \cdots u_{n_a-n_b+2} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \quad \cdots \\ -y_{N-1} & \cdots & -y_{N-n_a} & u_{N-n_k-1} & \cdots u_{N-n_k-n_b} \end{vmatrix},$$

а векторът на изходите е

$$Y^T=\left|y_{n_a+n_k+1}\ \ y_{n_a+n_k+2}\cdots y_N\right|.$$

Б/ Метод на инструменталната променлива (МИП), оценяващ $\hat{\theta}$ по зависимостта:

$$\hat{\theta}=\left(V^T F\right)^{-1`} V^T Y, \qquad (4)$$

където матрица *V* има вида на *F*, но в нея измерените стойности на изхода са заместени с предсказаните по текущо оценявания модел $\hat{Y}$.

При реализация на метода първо се намират оценките по метода на най-малките квадрати. Полученият модел се използва за изчисляване на предсказаните стойности на изхода. С тях се формира матрица *V* и се намират нови оценки на $\hat{\theta}$. Те се използват за изчисляване на нови стойности за $\hat{Y}$ и т.н., докато оценките на параметрите или критерия $Q(\theta)$ практически престанат да се изменят.

IV. Резултати от търсенето на динамични стохастични модели за описание на основни параметри на биологичното пречистване на замърсени води

Основна задача при оценка на коефициентите в динамични стохастични модели е изборът на тяхната структура и реда на включените полиноми. Обикновено това се реализира чрез итеративна процедура, като намерените модели се сравняват по някакъв критерий.

В случая е използван информационния критерий на Акаике FPE (крайна грешка от предсказанието), който отчита функцията на загубите

$$Q=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(y_i-\hat{y}_i\right)^2, \qquad (5)$$

обема на извадката *N* и сумарния брой коефициенти в модела *k*.

$$FPE=\frac{1+\frac{k}{N}}{1-\frac{k}{N}}.\frac{Q}{N} \qquad (6)$$

За най-добър е приет модела, минимизиращ критерия FPE. Като допълнителна сравнителна характеристика за всички изследвани модели е определена и дисперсията на предсказанието $\hat{S}^2$.

Оценката на коефициентите в динамичните стохастични модели е осъществена в средата на MATLAB. Обработени са данни от Софийска пречиствателна станция, обхващащи периода от месец март до месец май. Съществен проблем при търсенето на модели, даващи връзка между основни параметри на билогичното пречистване беше ограниченият обем на извадката и малкият брой измервани параметри в реално време. На практика единственият автоматично измерващ се показател на входа на пречиствателната станция е количеството постъпила вода.

Оценени и анализирани са :

1. Модел, описващ рециркулационното съотношение като функция от дебита на входните замърсени води.
2. Модел, позволяващ определяне на необходимото време за престой в биобасейна като функция от количеството постъпила вода за пречистване.

Обработката е извършена с центрирани стойности на входа и изхода, с цел намаляване на ефекта на взаимна зависимост между данните, в резултат на пасивния характер на експеримента.

В таблица 1 са представени намерените оценките на коефициентите и статистически характеристики на моделите.

Таблица 1.

Параметри на намерените модели

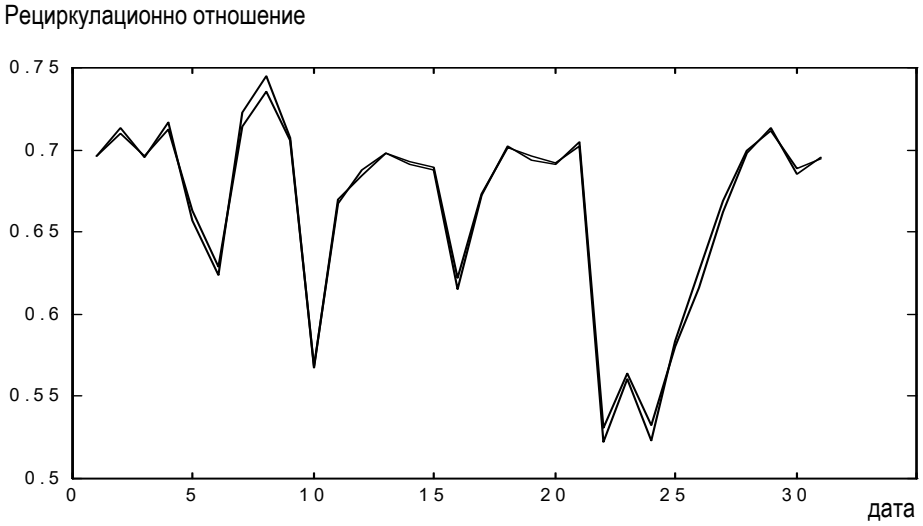
метод	показател		модел 1	модел 2
М Н К	коефициенти	b_0	-0,1215	-1,7067
		b_1	0,0161	0,1088
		a_1	-0,1676	-0,0638
		a_2	0,0260	-0,0066
	FPE		$2{,}61.10^{-5}$	$6{,}74.10^{-4}$
	$\hat{S}^2$		$2{,}10.10^{-5}$	$5{,}02.10^{-4}$
М И П	коефициенти	b_0	-0,1215	-1,7074
		b_1	0,0505	-0,9354
		a_1	-0,4578	0,5496
		a_2	-1.0016	-0.0071
	FPE		$4{,}70.10^{-5}$	$7{,}77.10^{-3}$
	$\hat{S}^2$		$2{,}40.10^{-5}$	$4{,}96.10^{-4}$

От анализа на представените данни в таблицата могат да се направят следните изводи:

1. Намерените модели са с добри предсказващи свойства. Това твърдение е илюстрирано на фиг. 3, където са представени измерените през месец май и предсказани по модела стойности за рециркулационно съотношение.
2. Използваният метод за оценка на коефициентите незначително влияе на характеристиките на намерените модели.

За изследване на екстраполационните свойства на намерените модели, е осъществен следния експеримент:

1. Извършена е оценка на модел от тип 2 чрез използване на данните само за месец март. Резултатите са представени в таблица 2.
2. С намерения модел са определени предсказаните стойности на изхода за месец април. Те са сравнени с експериментално получените.

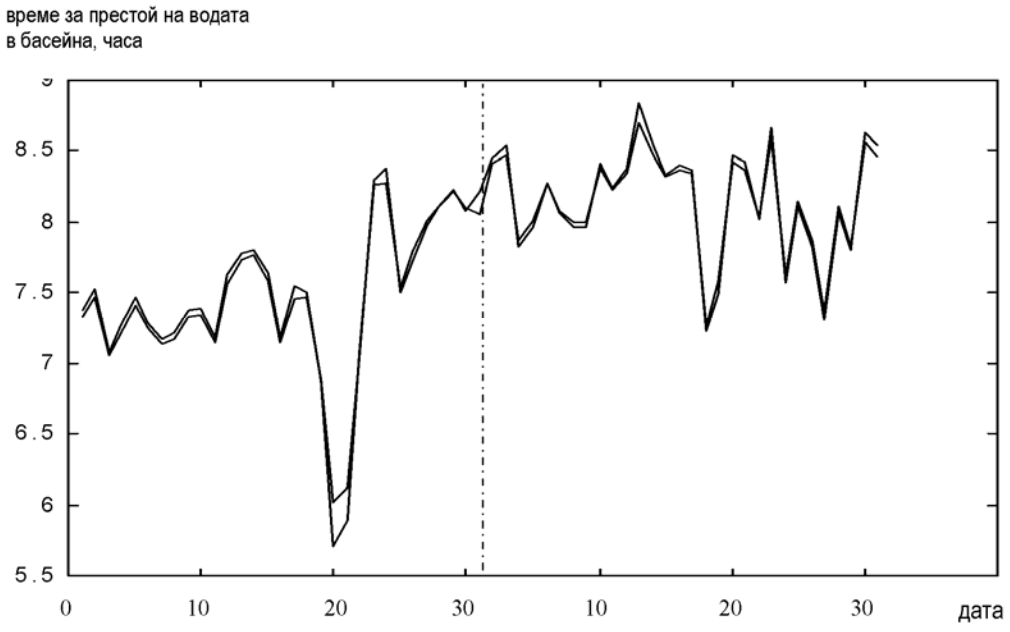


Фиг. 3.

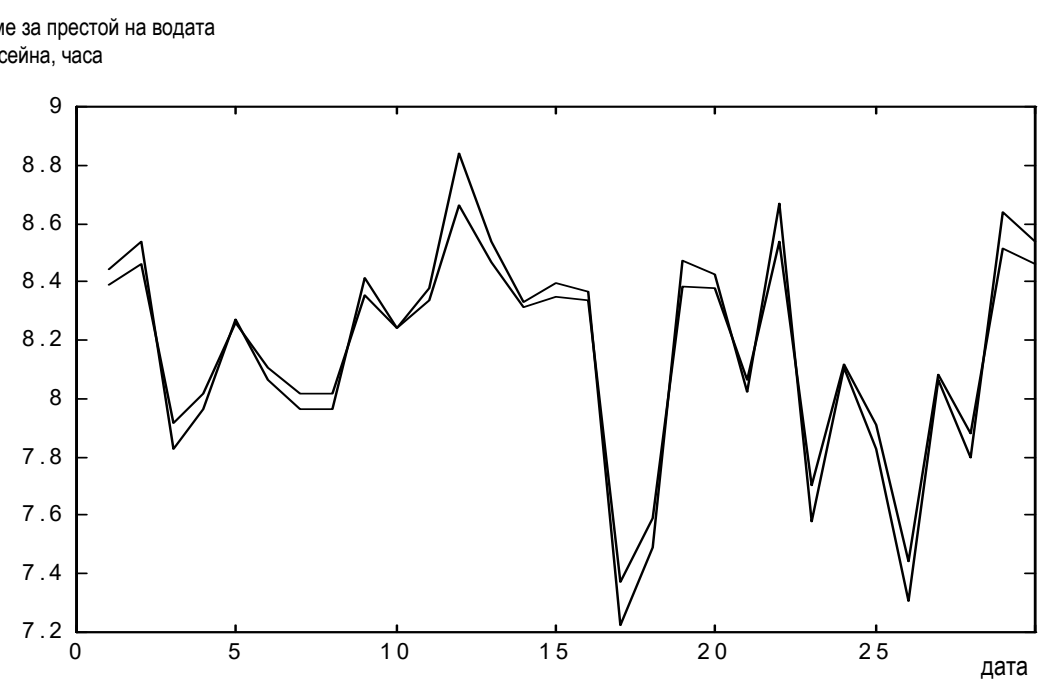
Резултатите са представени графично. На фиг. 4 са дадени измерените и предсказани стойности за изхода за месеци март и април, чрез използване на модела, оценен на база цялата извадка. На фиг. 5 са съпоставени действителните данни за времепрестоя на водата в биобасейна през месец април и определените чрез използване на модела, представен в последната колона на таблица 2.

Таблица 2

показател		МНК	МИП
Коефициенти	b_0	-1,3623	-1,3687
	b_1	0,6751	1,3352
	a_1	-0,5189	-1,0016
	a_2	0,0098	0.0134
FPE		$6{,}17.10^{-3}$	$8{,}20.10^{-3}$
$\hat{S}^2$		$5{,}90.10^{-3}$	$6{,}90.10^{-3}$



Фиг. 4.



Фиг. 5.

Несъществените различия между двете графики от фиг. 5 и ниската стойност на определената дисперсия на предсказанието за месец април ($7{,}00.10^{-3}$) потвърждават добрите предсказващи свойства на намерения модел.

V. Изводи

Проведените изследвания показват, че изменението на основни параметри на процеса биологично пречистване на битови отпадни води, успешно може да се опише чрез динамични стохастични модели. Тяхната проста структура позволява лесното им използване в системите за управление.

За получаване на модели с практическа приложимост би следвало да се обработят извадки с по-голям обем, което ще даде възможност за определяне и на интервала през който трябва да се актуализират моделите с цел отчитане на нестационарността на обекта.

Литература

Цонков Ст. Филев Д. *Управление на биотехнологичните процеси*, София, Техника, 1992.

Бирюкав, В. В., В. М. Кантере. *Оптимизация периодических процессов микробиологического синтеза*. М., Наука, 1985 г. http://www.e-cell.org/manuel

Bastin,G., D. Dochain. *On-line Estimation and Adaptive Control of Bioreactor. LADAS*, Belgium,1990. http://www.utia.cas.cz

Игнатова М., Патаринска Т. *Автоматизация на биотехнологичните процеси – състояние и тенденции на развитие*. Автоматика и информатика, № 6, 2002 г. стр. 11-14.

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 125-130

Съвременни методи за обмен на данни в минната промишленост

Кънчо Иванов, Динко Белчевски

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

РЕЗЮМЕ. В минният бранш в много от предприятията данните се пазят локално в собствен формат използван от специализирано софтуерно приложение, като използването им в друго приложение е трудно и често е свързано със загуба на информация. На настоящия етап е възможно да се поддържат по-сложна и прозрачна размяна на техническа и изследователска информация.
Настоящият доклад прави обзор на развитието на стандартите и третира методите за селекция на базисно множество от компоненти на мрежовите протоколи и инструменти на комуникацията, чието приложение осигурява:

- наборите от данни да са описани чрез добре формулирани общи модели
- файловите формати да са съвместими с протоколите за електронен бизнес
- прозрачност на интерфейса към общите бази данни
- удобното им разширяване до файлове за многопотребителска работа във WWW
- непосредствено прехвърляне на данни между различни софтуерни приложения.

CONTEMPORARY METHODS FOR DATA EXCHANGE IN MINING INDUSTRY
ABSTRACT. In mining branch most enterprises data is held locally in proprietary formats for use within given specialised software application, and re-use in another can be difficult and is often accompanied by net information loss. Now maturing to a stage, where is possible to support more sophisticated and transparent exchange of technical exploration information.
The report summarizes the developments in the standards and examine selection methods on basis multitude of components on net protocols and communication tools, whose applying ensures:

- data sets were described with well-understood common models
- file formats are compatible with e-business protocol
- database interface transparency
- database conveniently extends into multiclient file data on the WWW
- immediate import and transfer between a variety of applications software

Въведение

Широкото навлизане на WWW постави въпроса за свободната и унифицирана обмяна на данни между различни софтуерни приложения. Използването на „частни" двоични файлови формати не отговаря на някои от съвременните изисквания за обмен на данни. Причината за това е различното представяне на метаданните, описващи самите данни, специфични за различните фирми разработващи софтуер. Това затруднява обмена на данни между различни софтуерни приложения, тъй като се налага преобразуване на двоичните данни от един формат в друг. Това преобразуване не винаги е успешно, било поради недостатъчната документация за дадения файлов формат, било поради невъзможността на разработчиците да се справят с тази задача.

В противовес с тях са текстовите файлове. Един текстов файл може да бъде отворен с произволен текстов редактор независимо с каква програма е бил създаден. Това ги прави подходящи за пренос на данни между различни платформи и приложения. Основен недостатък на чистите текстови формати е липсата на структурираност на информацията. Този проблем се решава с използването на езиците за форматиране. Типичен представител на езиците за форматиране е HTML (Hypertext Markup Language). Той е най-известното приложение на езика SGML (Standart Generalized Markup Language), който е текстово-базиран език използван за форматиране (mark-up) на данни – т.е. за добавяне на метаданни по един самоописателен начин. HTML е универсален език за форматиране, който служи за представянето на информация и за свързването на различни парчета информация.

Въпреки успеха на HTML, той също има своите ограничения – предназначен е само за показване на документи в браузър. От него не може да се разбере кое парче информация за какво отнася, тъй като HTML няма средства за описание на специализирана информация.

Точно поради тази причина е създаден XML (Extensible Markup Language). Той представлява подмножество на SGML и има същите цели – форматиране на произволен тип данни. Но XML е значително по-прост от SGML, като при това опростяване е постигната съвместимост между XML и SGML (но не и обратно).

Език за форматиране XML

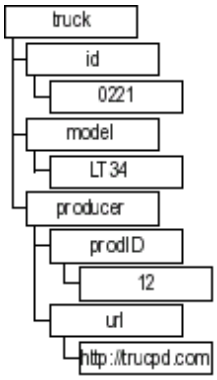
Основа на езика

XML е език, който позволява структуриране на информация от произволен тип. Самият XML е метаезик, позволяващ дефинирането и създаването на различни подезици на негова база. Информацията се пази в прости текстови файлове, като структурата й се дефинира чрез допълнителна (мета) информация наречена тагове. За разлика от HTML таговете в XML не са предефинирани, като това е

оставено на разработчика. Информацията може да се представи чрез затварянето й между два тага (наречени отварящ и затварящ) или като атрибут на даден таг.

```
<truck>
        <id>0221</id>
        <model>LT34</model>
        <producer>
                <prodID>12</prodID>
                <url>http://trucpd.com</url>
        </producer>
</truck>
```

Всеки един XML документ организира информацията в дървовидна йерархия. Всяка част от дървото която има наследници се нарича клон, докато частите които нямат – листа. Йерархията на горния документ има следния вид:



Фиг. 1. Йерархия на XML документ

Тук елемента truck се нарича корен (root) на дървото, елемента producer е клон, а елементите id, model, prodID и url – листа.

Document Type Definition (DTD), XML Shema

Добре конструираните XML данни гарантирано използват правилен XML синтаксис и имат подходящо свързана (йерархична) структура, която е основна за всички XML данни. Това е достатъчно са статични вътрешни приложения, особено ако кода е програмно генериран, но води до трудности при определянето и промяната на структурата на данните [1].

Отделянето на описанието на XML данните от индивидуални приложения позволява всички коопериращи се приложения да споделят едно единствено описание на данните, наречено XML речник. Когато група от XML документи споделят общ XML речник, то те се наричат документен тип.

Спецификацията XML 1.0 описва стандартизиран метод за описание на XML документни типове наречена дефиниция на документен тип (DTD)[1].

Друг метод за описание на данните и създаване на валиден код е използването на схеми. Под схема се разбира организацията или структурата на база данни, която обикновено се поражда от моделирането на данни. В контекста на XML под схема се обикновено се има предвид предстоящото приложение на W3C за стандарт XML Shema, която използва XML за всички свои описания на данни. Най-общо XML схемите трябва[1]:

- Да осигуряват богато множество от типове данни от примитивни типове данни.
- Да осигуряват система от типове данни, позволяваща създаването на вградени и дефинирани от потребителя типове данни.
- Да отличават представянето на лексикалните данни от залегналото информационно множество.

Представяне на XML данни (CSS, XSLT)

Тъй като XML акцентира върху структурата на данните, а на върху тяхното представяне, то за тази цел са разработени няколко технологии позволяващи визуализирането на XML данните или тяхното конвертиране в подходящ формат.

Таблиците със стилове (style sheets) служат за подобряване на представянето на XML данни, а таблиците с каскадни стилове (CSS – Cascading Style Sheets) може да се използват за форматиране на данните. Използването на CSS позволява директното показване на XML документ в браузър, който поддържа XML. Такива са повечето съвременни браузъри като Internet Explorer и Mozilla. Когато някои от тези браузъри отвори XML документ, той проверява за асоциирана таблица с каскадни стилове и ако намери такава, то той визуализира документа спрямо дефинициите й. Ако към документа няма асоциирани каскадни стилове, браузъра визуализира дървовидната структура на документа.

Въпреки, че е възможен този метод на визуализиране има някои съществени недостатъци. Например не всички браузъри поддържат директно XML. Освен това е възможно XML документа да е структуриран по начин, който да не позволява директното му визуализиране или пък да се налага трансформиране на документа в друг формат.

За тази цел е разработен Extensible Style sheet for Transformation (XSLT). XSLT е език който позволява трансформиране на XML документа в произволен текстово базиран формат (фиг. 2).

Фиг. 2. XSLT трансформация

XSLT е подкомпонент на един по-голям език наречен Extensible Style sheet Language (XSL), който е XML базиран език и служи за създаване на таблици със стилове, които дефинират изобразяването на изходния документ (резултатно дърво – result tree), както и от къде да се вземат данните от входния документ (изходно дърво – source tree). След това XML машината използва таблиците със стилове за преобразуване на XML документи в други документни типове, както и за форматиране на изхода.

XSLT таблиците със стилове са изградени посредством структури, наречени шаблони (templates), които определят какво да се търси в изходното дърво и какво да се постави в резултатното дърво.

Благодарение на XSLT е възможно преобразуването на един тип XML документ в друг, в HTML документ или в документ с обикновен текст.

XML в минната индустрия

На базата на XML са разработени множество подезици, които имат за цел да решат различни задачи. Почти всяка

сфера от науката или индустрията използват XML в дадена степен. Това важи и за минната индустрия, в която се използват както общи спецификации, така и спецификации разработени специално за нея. Статията разглежда само някои от тях, а именно GML (Geography Markup Language), XMML (Exploration and Mining Markup Language), IREDES (International Rock Excavation Data Exchange Standart) и SVG (Scalable Vector Graphics).

GML

Geography Markup Language (GML)[4] е XML базиран стандарт използван за предаване и съхраняване на географска информация, който поддържа както пространствени, така и други характеристики (примитиви) на релефа. Тази спецификация дефинира XML Shema синтаксис, чиито механизми и конвенции:

- Осигуряват отворена и независима рамка за дефиниране на географски схеми и обекти.
- Поддържат описание на географските схеми за специализирани области.
- Позволяват създаване и управление на свързани географски схеми и набори от данни.
- Предават и съхраняват географските схеми и набори от данни.
- Увеличават способността на организациите да споделят географска информация.

В GML реалния свят се представя цифрово, като набор от характеристики на релефа. Всяка характеристика е дефинирана чрез набор от свойства, като всяко свойство има име, стойност и тип. В GML свойствата са два типа – основни свойства и геометрични свойства. Всяка характеристика може да има както множество основни свойства, така и множество геометрични свойства.

Важна особеност е факта, че една характеристика може да бъде съставена от няколко други характеристики. Такава характеристика е наречена колекция от характеристики. Колекцията от характеристики притежава свой собствен тип както и собствени свойства различни от тези на съставляващите я характеристики. Например един град може да се представи като колекция от характеристики, които описват отделните пътища, сгради, реки и др.

GML спецификацията се базира на т.нар. „проста“ характеристика (примитив). Тя е опростена версия на по-общия модел описан от OGC (Open GIS Consortium) Abstract Specification. Направени са основно две опростявания, като те водят до дефинирането на „простата“ характеристика като:

- Характеристиката има или основни свойства (цели числа, числа с плаваща запетая, низове) или геометрични свойства.
- Характеристиките, които геометрични свойства се описват в двуизмерна координатна система, използват линейна интерполация между координатите.

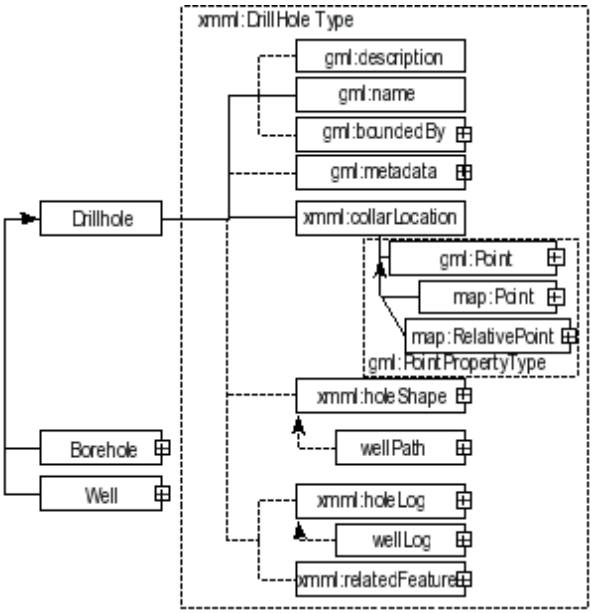
Чрез комбинирането на „простите“ характеристики се постига пълно описание на релефа на местността [2].

XMML

Въпреки, че GML е разработен за работа с географски данни, то той не е особено подходящ за представяне на геоложки данни, тъй като не поддържа от специфичните за сондирането характеристики.

XMML[5] е приложна схема на GML. XMML използва основните характеристики на GML като добавя допълнителни, които са специфични за геологията. На практика това се постига чрез добавяне на подходящи геометрични и не геометрични свойства към GML схемата.

Например ако се разглежда един сондажен отвор (borehole) като XMML характеристика, освен типичните GML свойства като име (name), описание (description) и обкръжение (boundedBy), той може да има и типично геоложки свойства като местоположение на сондажа (collarLocation) и вид на сондажа (holeShape). Тази структурата е показана на фиг. 3:



Фиг. 3. XMML „Borehole“ модел

Част от документа описващ „Borehole“ схемата има следния вид:

```
<xsd:element name="Drillhole" type="xmml:DrillholeType"
substitutionGroup="gml:_Feature"/>
<xsd:element name="Borehole" type="xmml:DrillholeType"
substitutionGroup="xmml:Drillhole"/>
<xsd:element name="Well" type="xmml:DrillholeType"
substitutionGroup="xmml:Drillhole"/>

<xsd:complexType name="DrillholeType">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>A drillhole is a Feature with a collarLocation, zero or
more  drillHoleShape's, zero or more drillHoleLog's, and zero or more related
features.
    </xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
  <xsd:complexContent>
    <xsd:extension base="gml:AbstractFeatureType">
      <xsd:sequence>
        <xsd:element ref="md:metadata" minOccurs="0"/>
        <xsd:element ref="xmml:collarLocation"/>
        <xsd:element ref="xmml:holeShape" minOccurs="0"
maxOccurs="unbounded"/>
        <xsd:choice minOccurs="0" maxOccurs="unbounded">
          <xsd:element ref="xmml:holeLog"/>
          <xsd:element ref="xmml:relatedFeature"/>
        </xsd:choice>
      </xsd:sequence>
    </xsd:extension>
  </xsd:complexContent>
</xsd:complexType>
```

В добавка към схемите, XMML се разпространява и с XSLT стилове, чрез които XMML документите може да се преобразуват в различни текстови формати като SVG и X3D (Extensible 3D) графика, HTML и чист текст. По този начин е възможно тяхното директно показване във WEB

чрез браузър.

IREDES

International Rock Excavation Data Exchange Standart (IREDES) е стандарт за обмяна на информация между изкопните машини и централен компютър. За първи път е представен на петата конференция ISMMA and Telemin през 1999, като в момента се поддържа официално от един от най-големите производители на изкопно оборудване Atlas Copco.

IREDES дефинира общ електронен език за комуникация между изкопните машини и централен компютър или друго оборудване. Той се базира на XML и използва DTD за описанието на данните.

Информацията обменяна с IREDES се структурира в „набор от данни" (Data Sets), като един набор от данни представлява цялата информация предадена наведнъж. Всеки един Data set съдържа следната информация:

- Главна заглавна част (General Header Object – GenHead) – съдържа типа и идентификацията на машината. Този блок се предава винаги първи и съдържа основна информация като тип на машината, производителя й, сериен номер и др. Освен това може да съдържа информация и за версията на протокола с цел избягване на несъвместимости.
- Местоположение (Site Header Object) – съдържа информация за местоположението или мината, в която се намира машината. Това заглавно поле не е задължително.
- Приложни данни (Application Object) – може да съдържа основно три типа информация. Профила за изпълнение на производството (Production Performance Profile) съдържа цялата информация свързана с това доколко машината с завършила зададената й работа. Информацията в този блок се предава на определен интервал – ден, смяна и т.н. Профила за качеството на продукцията (Production Quality Profile) се предава отделно, тъй като обикновено в минните предприятия качеството и изпълнението на продукцията се следят от различни отдели. Плановата информация (Planing Data) се използва за предаване на цялата информация необходима на дадена машина, така че тя да може да извърши дадена операция.
- Завършващия блок (Trailer Block) съдържа единствено един параметър, който служи за проверка по четност на останалата информация.

В един набор от данни информацията е структурирана в блокове от данни (Data Blocks), като всеки блок може да има подблокове. Всеки блок също съдържа и елементи, които имат определен фиксиран тип. Тук се проявява и недостатъка на DTD, тъй като DTD не може да се опише тези данни (предвижда се преминаване към XML Shema на покъсен етап).

Анализа и подготовката на един IREDES документ може да стане по два начина:

- Подготовка и анализ с помощта на база данни с възможности за експорт и импорт на XML документи.
- Подготовка и анализ с помощта на външно приложение.

Първият начин изисква наличие на филтър за работа с XML на използваната в мината база данни. В зависимост от възможностите на този филтър изхода може да се нуждае и от допълнителна обработка, така че да стане съвместим с IREDES спецификацията. Освен това в този случай се препоръчва и валидация на DTD на документа от страна на оборудването към което той се изпраща с цел избягване на грешна интерпретация.

Втория начин използва външна програма за извличането на данните от базата данни и подготвянето им в подходящ IREDES документ.

Данните може да се предават основно по два начина – първия е без наличието на връзка между централния компютър и минното оборудване (offline) и втория е чрез директна връзка по изградената мрежа (online). Независимо от носителя предаваната информация е идентична. Въпреки това предаването на данни за моментно състояние на оборудването и съобщения за грешки не може да се осъществява по първия метод. От друга страна данни за планиране и работните дневници на машината се пренасят предимно чрез носители, въпреки че предаването им по мрежова инфраструктура не е изрично забранено.

IREDES не позволява отдалечено управление на машините, което обаче не означава че не може да се изпращат задачи към автономните машини.

Следващият код показва един примерен IREDES документ [6]:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8">
<!DOCTYPE IREDES SYSTEM "IREDES.dtd">
<IREDES>
  <GenHead>
    <StdVersion val="0.5"/>
    <EquProfType val="DRig"/>
    <EquManuf val="Someone"/>
    <SerialNo val="08/15"/>
  </GenHead>
  <ApplicationObject>
    <PPGen>
      <PPRepPerStart val="20000905 10:13"/>
      <PPRepPerEnd val="20000907 17:34"/>
      <PPGPwrSrc>
        <PPRun val="2445"/>
        <PPStopTime val="2342"/>
        <PPRepair val="23345"/>
        <PPPrevMaint val="243"/>
      </PPGPwrSrc>
      <PPDRig>
        <DrilledLenght unit="mm" val="3143"/>
        <NumHFAuto val="3"/>
        <NumHFErr val="4"/>
        <NumSAuto val="2"/>
        <NumSErr val="1"/>
        <NumHMan val="3"/>
        <RDOpTime val="554"/>
      </PPDRig>
    </PPGen>
  </ApplicationObject>
  <GenTrailer>
    <ChkSum val="FE5A"/>
  </GenTrailer>
</IREDES>
```

SVG

Scalable Vector Graphics (SVG) е XML базиран език за описание на двуизмерни графични данни във векторен формат, които са готови за публикуване в Интернет или други приложения. SVG използва няколко прости форми, при комбинирането на които се получават сложни фигури. Тези форми са:

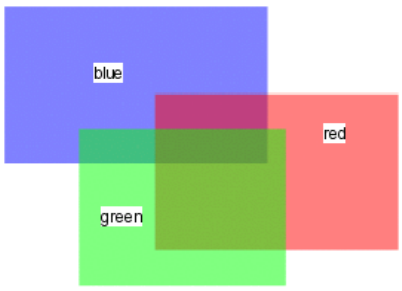
- Правоъгълник
- Кръг
- Елипса
- Линия
- Начупена линия

- Многоъгълник

Тези прости форми се отнасят към графичните обекти в един SVG файл. Освен графични обекти той може да съдържа още и изображения и текст. Тези обекти се рендерират на базата на наслагването, като първия елемент се рендерира пръв, втория върху него и т.н. Когато даден обект не е напълно непрозрачен, то смесването между него и обектите под него се изчислява на чрез математически алгоритми (например чрез алфа смесване – alpha blending) [8].

Едно SVG изображение има следния примерен вид:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"?>
<!DOCTYPE svg PUBLIC "-//W3C//DTD SVG 1.0//EN"
"http://www.w3.org/TR/2001/REC-SVG-20010904/DTD/svg10.dtd">
<svg xmlns="http://www.w3.org/2000/svg">
  <rect
    style="font-size:12.000;fill:#0000ff;fill-rule:evenodd;stroke-width:1;fill-
opacity:0.4870;"
    width="188.885529"
    height="121.426453"
    x="37.1025124"
    y="145.037048" />
  <rect
    style="font-size:12.000;fill:#ff0000;fill-rule:evenodd;stroke-width:1;fill-
opacity:0.5043;"
    width="175.393692"
    height="121.426453"
    x="145.037094"
    y="212.496155" />
  <rect
    style="font-size:12.000;fill:#00ff00;fill-rule:evenodd;stroke-width:1;fill-
opacity:0.4870;"
    width="148.410065"
    height="121.426453"
    x="91.0698013"
    y="239.479797" />
</svg>
```



Фиг. 4. SVG пример

Освен показване на изображения, чрез SVG може да се правят анимации и интерактивни изображения, които се променят в зависимост от действията на потребителя. Последното се постига благодарение на факта, че SVG използва DOM (Document Object Model) за достъп до отделните елементи. Това позволява интерактивното им управление чрез езици като Java и JavaScript например. Използването на JavaSript позволява не само контролиране на елементите в SVG изображението, но и контрол върху елементи на заобикалящия го HTML документ.

Тъй като SVG е прост текстов документ, то е възможно генерирането на SVG изображение директно от даден GML/XMML документ чрез проста XSLT трансформация. След това генерираното SVG изображение може да бъде включвано в HTML отчет и да бъде показано директно във WEB или да бъде предадено към определено графично приложение.

Предимствата на използването на SVG изображения вместо JPEG или PNG за изобразяването на сложни обекти (каквито са геоложките данни в рудниците) са:

- Увеличаване и намаляване на изображението без загуба на качеството, което е характерно за растерните изображения като JPEG и PNG. Това гарантира достигането на детайлност недостижима чрез растерен формат без допълнителни заявки към сървъра.
- По-малък размер на файла, особенно за компресираните SVG изображения.
- Лесна преносимост, което е характерно за XML документите.
- Възможност за интерактивност и анимации.

Тези предимства се отнасят и за Flash анимациите (www.macromedia.com), но Flash има един основен недостатък, който се избягва при SVG: той е затворен файлов формат собственост на една компания за разлика от SVG, който е отворен стандарт и се контролира от много организации и компании (включително и от World Wide Web Consortium).

Визуализирането на SVG изображенията може да стане както в специализиран софтуер, така и директно в WEB браузър. Adobe разпространява безплатно своя SVG плъгин, който позволява визуализиране в почти всички по известни браузъри. Освен това в последните версии на Mozilla визуализирането на SVG изображения е вградено.

Уеб услуги (Web Services)

Уеб услугите представляват набор от инструменти, които позволяват изграждането на разпределени приложения и споделяне на ресурси на базата на съществуващата WEB инфраструктура.

Идеята на Уеб услугите е да се разработят по такъв начин, че да може да работят еднакво добре на различни платформи независимо от разстоянието.

За да стане това възможно Уеб услугите използват общ език, а именно XML.

Основните стандарти на които се опират Уеб услугите са SOAP (Simple Object Application Protocol)[9] и WSDL (Web Services Description Language)[10]. Тук SOAP служи за пренос на съобщенията през Интернет по HTTP протокол [11], а WSDL описва технологичните особености на услугата – метод за връзка, входни и изходни данни и т.н.

След като бъде изградена, за да стане публично достъпна, една Уеб услуга, тя трябва да се опише в UDDI (Universal Description, Discovery Language) регистрите. Тези регистри съдържат информация за Уеб услугите, компаниите, които ги поддържат, описание на възможностите и изискванията на отделните услуги [12].

В минната промишленост Уеб услугите може да се използват както за комуникация между минни в рамките на едно предприятия и изпълнение на отдалечени процедури между тях, така и за предоставяне на услуги и информация през Уеб.

Заключение

Както бе отбелязано, използването на затворени бинарни формати за предаване на данни между различни устройства в повечето случаи е трудно и понякога свързано със загуба на данни. Въпреки предимствата на тези формати (бързина на обработката и намален обем на файла), то вероятността от грешна интерпретация на данните е срав-

нително голяма, което не ги прави предпочитани за предаване на разнородни данни между различни приложение, където е необходимо често преминаване от един формат към друг.

Използването на XML позволява много по-лесен трансфер на данни между различните приложения и оборудване, като освен това позволяват и използването на Уеб услуги за тези данни.

От една страна Уеб услугите ще позволят лесен трансфер на данни между различни мини, даже те да използват различна база данни и софтуер, като освен това осигуряват възможност за изпълнение на отдалечени процедури между тях.

От друга страна Уеб услугите осигуряват лесно изграждане на b2b (business-to-business) приложения и публикуването им в Интернет, което ще направи търсената информация по лесно достъпна за клиенти и персонал.

Литература

Кейгъл, К., Гибънс, Д., Хънтър, Д. 2001 *Програмиране с XML*. С. СофтПрес.

Shrestha, B. B., *XML Database Technology and its use for GML*, Enschede 18-28.

Cox, S., *Geologic data transfer using XML*, Nedlands 6-14

http://www.opengis.net/gml/

http://xmml.arrc.csiro.au/

Kauppi, I., *Use of XML Based Communication in Mining Industry (IREDES Initiative) and Mining Machines*. 2-8

http://www.w3c.de/Events/2002/svgtutorial.html

Chengyuan, P., *Scalable Vector Graphics (SVG), Helsinki*. 2-4, 6-7

http://www.w3.org/TR/soap/

http://www.w3.org/TR/wsdl

http://www.w3.org/Protocols/

Стойчев, П., *Уеб услуги*, BestOfWebDevMagazine. 54-58

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 131-135

Относно система за контрол на поведението на скалния масив, базираща се на методите на изкуствения интелект

Георги Радулов, Георги Миланов

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

РЕЗЮМЕ. Разработването на все по-усъвършенствани системи за наблюдение на поведението на скалния масив около минните изработки в подземните рудници е важен момент от инженерната дейност в областта на минната промишленост.
Информационно-измервателните системи (ИИС) са една от най-бързоразвиващите се области на техниката днес. Тук навлезнаха най-модерните информационни технологии, като изкуствения интелект, *разпознаването на образи и индустриални ситуации и др.* Представлява интерес за българската минна наука да се даде оценка, на настоящия етап на развитие на техниката, необходимо ли е и каква е възможността за внедряването на тези технологии в Информационно-измервателните и диагностични системи, прилагани в минните предприятия.
В това отношение синтезирането на обобщена ИИС, включваща единна обработваща информацията част, единна визуализираща информацията част и различна доставяща информацията част, добре хармонира с разнообразните условия, предоставяни от различните подземни рудници.
С предлагания доклад се цели да се анализират възможностите за прилагане методите на изкуствения интелект в системи за контрол поведението на скалния масив. Дават се предимствата на тези системи в съпоставка с конвенциалните такива. Оценява се възможността за синтезирането на такива системи тук в България.

SYSTEM FOR THE CONTROL OF BEHAVIOUR OF ROCK MASSIF BASED ON THE METHODS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE
ABSTRACT. The elaboration of more and more perfect control systems for demeanour of the rock massif around the mines in the unterground mines is important moment до engineering activity in the sphere of the mine industry.
Information-measurement systems are one of the fast developing spheres of the technics at present. Here are entered the most modern information technologies such as artificial intelligence, identification of forms and industrial situations and others. For interest of the Bulgarian mine science is to make a valuation of the present landmark, is it the necessity and what is the possibility for adoption of this technologies in the Information-measurement and diagnostic systems that are applied the mine industry.
In this respect the design of the generally Information-measurement system including united part that is processed the information, united part that is visualizated the information and different part that is provided the information, good harmonize with the varied circumstances that are given from the different unterground mines.
The lecture that is suggested there is an object to be analize the possibilities for application of the methods of the artificial intelligence in the control systems for the demeanour of the rock massif. Here are given priorities to these systems in confrontation with the conventional systems and is estimated the possibility for the design of the such systems here in Bulgaria.

Въведение

Контролиране поведението на скалния масив около минните изработки се налага основно от съображения за сигурност. Но то е свързано също с избора на технология за закрепване, както и с определяне на времето за полагане на крепежа, с цел максимално мобилизиране носимоспособността на скалите. Всичко това изисква разработването на технически средства и информационни технологии, доставящи и обработващи информация, за състоянието на масива около прокарваните минни изработки.

Новопрокараното изкопно съоръжение нарушава съществуващото равновесие в масива. В известна област около него протича преразпределение на напреженията, предизвикващо деформационни процеси. Как ще се развият във времето, докъде и какви стойности ще имат деформациите в пространството, зависи от характера и големината на напрегнатото състояние и якостните свойства на скалите. При това и двата фактора се изменят във времето и пространството. Така последователно във времето и пространството се образуват зони с различна стойност и характер на деформациите [л.2]. Особен интерес за крепенето с активни крепежни конструкции, представлява 3-та зона. При нея носимоспособността на масива е запазена, но големите усилия създавани от еластичната деформация, които излишно натоварват крепежа, са вече отминали. Деформациите са пластични, но не се наблюдават пукнатини, т.е. якостните свойства на скалите са запазени.

Интересна е също втора зона [л.2], характеризираща се с визкоеластични деформации. По тези деформации могат да се определят параметрите на скалите, като модула на Кирхоф G, коефициента на Поасон и др. [л.2].

Определянето на деформациите, напреженията и радиусите на отделните зони може да стане теоретично, но използваните методи и хипотези не винаги дават реални резултати. Причините за това се крият в голямото разнообразие на природните условия в които залягат полезните изкопаеми. Това изисква прилагането на комбиниран теоретико-експериментален метод, при който напреженията се определят на базата на измерване на деформациите, предизвикани от тях. При определяне на напреженията и на тази база необходимостта от крепене и вида на крепежа съществена роля могат да играят методите на изкуствения интелект. Както е известно те се използват в случаите на непълна информация, при несигурност и неточност на данните. А случаят тук, при контрол на поведението на скалния масив е именно такъв. Даже при един и същи вид вместващи скали якостните свойства на масива зависят от тяхната напуканост, влажност, изветрялост и т.н.

Опирайки се на такава постановка на проблема, могат да се дефинират следните задачи за измерване, обработка

на получената информация и предлагане на решения от техническа система:

1. Измерване с цел уточняване характеристиките на крепежната конструкция и технологията на закрепване по време на прокарването на изработките. За максимално мобилизиране носимоспособността на скалите, при прилагане на активни крепежни конструкции, е желателно да се спре развитието на деформациите преди да се появят пукнатини. Определяйки теоретично максималната деформация, предизвикана в резултат на развитието на трета зона, измервайки реалната деформация и съпоставяйки двата резултата, може точно да се определи времето за поставяне на постоянния крепеж.

2. Измервания с цел оперативен контрол на състоянието на масива около минните изработки, с който се цели безопасна работа в рудника.

3. Измервания с цел определяне действителните стойности на параметрите на масива, влизащи в изразите за определяне на деформациите и радиусите на отделните зони.

4. Обработка на получената от измервателната система информация. Обработката може да бъде на различни нива. Първото ниво - първичната обработка на измервателните сигнали се извършва в самите измервателни уреди или в компютър. По-нататък получената информация съпоставена с резултатите от теоретичен модел на деформационното състояние на масива около минните изработки може да се използва за корекция на параметрите на скалния масив, респективно на теоретичния модел. Измервателната информация в съчетание със съвременни информационни технологии може да се използва за оценка на състоянието на скалния масив около изработките и да се предлагат технологични решения. Тези проблеми са в основата на настоящата работа.

За измерване на деформациите са необходими точни и надеждни измервателни уреди. Те трябва да отговарят на редица изисквания. Метрологичните изисквания включват точност, измервателен обхват, преобразувателна характеристика (функция на преобразуването), чувствителност, праг на реагиране, динамична характеристика и вариация на показанията на уреда. В случая последните две изисквания нямат съществено значение, тъй като от една страна премествания са бавни, от друга страна те са винаги в една и съща посока и няма място за вариация на показанията. Уредите трябва да измерват премествания в зададени диапазони. Необходимо е да се определя първата и втората производна на деформациите, защото дават информация за тенденцията на процеса към затихване или към обрушаване. Това ще позволи далеч преди приключването на процеса да се предвиди неговия характер.

Максималните премествания, характерни за изработки в меки скали, достигат до 0,2 m. В твърди скали тези премествания са до 0,002 m. Тази голяма разлика налага използването на уреди с различни обхвати за скални масиви с различна якост.

Точността на уреда в разглеждания случай е от особено важно значение. Това е така, защото от нея зависи не само точното измерване на преместването (деформацията), но и точното изчисляване на параметрите, от които то зависи, тъй като се има предвид съпоставяне на изчислената с измерената стойност. Характеристиката на преобразуване на уреда трябва да бъде линейна.

Чувствителността на уреда с измервателен обхват 0÷2 mm трябва да бъде не по-малка от. 0,01 mm.

Подземните рудници и по-специално рудниците опасни по газ и прах налагат някои специфични изисквания. Найнапред за всички рудници изпълнението трябва да бъде руднично нормално (РН), а за въглищните рудници опасни по газ и прах трябва да бъде руднично взривобезопасно (РВ).

Към конструктивните изисквания трябва да отнесем и изискването първичния преобразувател на уреда да може да се монтира в размерите на взривна дупка.

Предвид на това, че уредът ще бъде едно сравнително скъпо устройство, необходимо е изцяло или поне по-голямата част от него да може да се използва многократно.

Концепция

От казаното се вижда, че за информационната част на информационно-измерителната система не могат да се използват уреди общопромишлено изпълнение, а трябва да се разработят специализирани такива. В това направление е работено и има известни резултати, макар че проблемите не могат да се считат за решени. По-малко е работено във връзка с приложението на методите на изкуствения интелект в информационно-измервателните системи за контрол на поведението на скалния масив.

Информационно-измервателните системи (ИИС) са една от най-бързоразвиващите се области на техниката днес. Тук навлязоха най-модерните информационни технологии, намерили приложение в изкуствения интелект. Представлява интерес за българската минна наука да се даде оценка, на настоящия етап на развитие на техниката, необходимо ли е и каква е възможността за внедряването на тези технологии в системите за контрол на поведението на скалния масив, прилагани в минните предприятия.

Избор на метод за обработка и представяне на информацията

От методите за обработката и представяне на информацията за разглеждания случай – контрол на поведението на скалния масив около минните изработки – особен интерес представляват методите на изкуствения интелект. В настоящия момент тези методи се делят на две големи групи: логически методи и собствени методи [л.7].

Логическите методи, които представляват формални логически системи, са възникнали преди появата на научното направление Изкуствен интелект (ИИ). Собствените методи, а именно: невронните мрежи, генетичните алгоритми, размитите системи, се появяват в процеса на развитието на изкуствения интелект (ИИ).

Да анализираме предимствата и недостатъците на тези информационни технологии с цел използването им при системите за контрол на поведението на скалния масив около минните изработки.

Обобщено може да се каже, че логическите методи, които са в основата на експертните системи, са по-пълно развити. В продължение вече на десетилетия се разработват експертни системи, някои от които (напр. EMYCIN, Kidney Expert System и др.) намират приложение [л.9, 10] в различни области на човешката дейност. Те могат да бъдат използвани като база за разработване на нови системи. В

този смисъл заслужава по-обстойно разглеждане на възможното приложение на методите на експертните системи за разглежданата цел.

Техническа система за измерване на деформациите в масива около изработките добре хармонира с експертна система, използваща база от знания на специалисти в областта на скалната механика и минните технологии. Техническата система доставя данни за моментното състояние. При необходимост тези данни претърпяват първична обработка (напр. намиране на първата и втора производна на деформациите и др.) и в подходяща форма се представят и съпоставят със систематизираната база знания на експерти. На такава основа се предлагат решения.

Контролът на поведението на скалния масив може да се разглежда и като задача от разпознаването на образи, по-специално на индустриални ситуации. В този случай се въвежда набор от признаци (симптоми) с които се характеризира скалният масив с прокараните в него минни изработки. Въвежда се и множество на класовете образи. Обработката на информацията се осъществява с невронна мрежа.

В качеството на признаци се въвеждат модулът на еластичността, коефициентът на Поасон, напреженията, деформациите, честота на звуковите сигнали (пуканията) от геофоните и др.

Особен интерес представляват хибридните методи на ИИ. Специално би трябвало да се оценят невронните експертните системи. Те съчетават предимствата на експертните системи с възможностите на невронните мрежи за самообучение. В случая експертните знания се въвеждат в невронни мрежи.

За разработването на експертна система екипът трябва да бъде съставен от технолози специалисти в областта на минния натиск и скалната механика, програмисти специалисти в областта на програмните продукти за обработка на знания (използващи програмните езици Лисип, Пролог и др.), инженери специалисти в областта на информационно-измервателната техника.

Екипът трябва най-напред да формира базата данни и базата експертни знания.

В базата данни трябва да влезат данни за масива в обема на който ще се развиват минните работи. Тук се включват якостните характеристики на скалите получени на базата на геоложките проучвания. Имат се предвид данни като: модул на еластичност, коефициент на Поасон, плътност, гранични стойности на нормални и тангенциални напрежения, електрическо съпротивление, магнитна проницаемост и т.н. Тези параметри се задават за фиксирани обеми от масива и са уточнявани непрекъснато с напредването на минните работи

На базата на съществуващите теории за определяне на напрежението в скалния масив се определя напрежението и стойността на деформациите във всяка точка на масива. Специално трябва да се отбележат границите на напреженията, при които деформацията преминава от зоната на еластичните в зоната на пластичните деформации.

В базата данни трябва да влезнат още проекта на рудника – изработките с техните параметри.

Въз основа на посочената до тук информация се прави предварителен (теоретичен) пространствен модел на напрегнатото състояние на рудника.

Към базата данни трябва да се прибавят още видовете крепежи с техните характеристики.

Базата знания се формира чрез извличане на знания от експерти.

Експертната система оценява ситуацията в момента на започване разработването на рудника. С разработването на рудника базата данни се попълва от маркшайдерските замервания и от информацията която постъпва от информационно-измервателната система (ИИС). Предвижда се информацията от ИИС да съдържа данни за деформацията на стените на изработките в характерни точки, скорост на нарастването на тези деформации (динамика на процеса), информация от геофоните, информация за напрежението в масива получена на базата геофизични методи на измерване.

Съпоставяйки реалните данни с тези получени в модела на напрегнатото състояние на рудника, системата регистрира отклоненията. На тази основа търси причините и предлага решения от рода на трябва ли да се смени видът на крепежа даден по проект, в кой момент да се крепи за да се използва максимално носимоспособността на масива и т.н.

На фиг. 1 е даден общ вид на концепцията на експертна система за контрол на поведението на скалния масив около минните изработки. От фигурата се добива представа как функционира системата.

Както се вижда и от фигурата основната, стартовата информация, която трябва да съдържа всяка експертна система са базата данни и базата знания. Те се вкарват в системата посредством потребителския интерфейс. За всеки отделен случай те се допълват за конкретния рудник и непрекъснато се обогатяват с неговото развитие във времето и пространството.

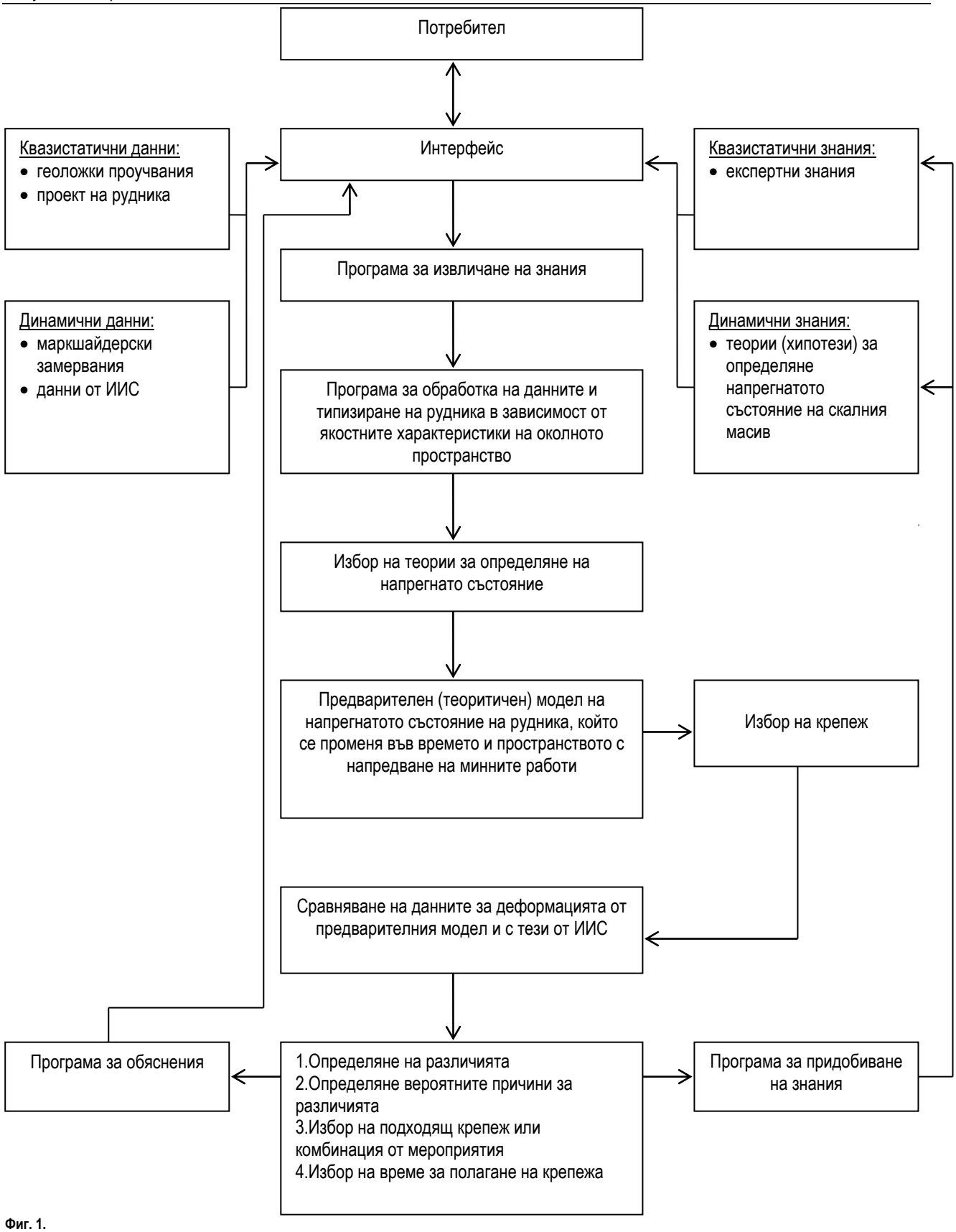
Рудниците могат предварително да се типизират и това да е залегнало в основата на системата. На базата на получената информация за конкретния рудник, той може да се отнесе към конкретен тип. Това би опростило по-нататък функционирането на системата, защото ще насочи системата каква теория за оразмеряване да избере за конкретния случай, какви измервателни уреди (като измервателен диапазон) да се използват и др.

По-нататък се съставя предварителния (теоретичен, на етапа на проектирането на рудника) модел на напрегнатото състояние на рудника. Този модел се променя във времето и пространството с напредването на минните работи. На базата на този модел се прави избор на проекта за крепеж.

С започване експлоатацията на рудника и монтиране на уредите и системата за непрекъснат контрол на напрегнатото (деформационното) състояние експертната система започва сравняване на реалните данни за деформационното състояние с тези от предварителния модел.

При установяване на разлика се търси вероятната причина довела до разликата в деформационното състояние. Може да се заложи алгоритъм и програма за проверка и уточняване параметрите на скалите (E, G, μ и др.) залегнали на етапа на проектиране на деформационния модел на рудника. Ако е необходимо експертната система препоръчва смяна на крепежа или други мероприятия за управление на скалния натиск.

От анализа за причините за възникналата разлика между теоретично определената и реалната деформация се придобиват нови знания, които се вкарват в базата знания.



Фиг. 1.

Експертната система обяснява на ползвателите вероятните причини за получаваните разлики и мотивира препоръчваните мероприятия (смяна типа на крепежа и др.).

Заключение

В заключение може да се каже, че на настоящия етап на развитие на техниката няма съмнение относно необходимостта да се използват съвременни информационни технологии при определяне на напрегнатото и деформа-

ционно състояние на скалния масив при добива на полезни изкопаеми.

От направеното проучване за нивото за развитие на информационните технологии, използвани в изкуствения интелект се вижда, че най-добре са развити тези използвани в експертните системи. Поради тази причина считаме за удачно да се работи именно в това направление. Едно понататъшно усъвършенстване е невронната експертна система.

Литература

Булычев Н., *Механика подземных сооружений*..Москва, Недра, 1982.

Николаев, Н., *Развитие на теорията и практиката на анкерния крепеж за подземни съоръжения.* Дисертационен труд за получаване на научната степен: Доктор на техническите науки, 1989.

Радулов, Г., Н. Николаев, *Метод и апаратура за теоретико-експериментално определяне напрегнатото състояние около минните изработки.* Международна конференция по Механика на скалите, Несебър, 1997 г.

Ямщиков, В.С., *Методы и средства исследования и контроля горных пород и процессов.* Москва, Недра, 1982.

Hentschel H., *Schonraintunel*, Felsbau, 2, 1991.

Higo M., M. Takami, *Intelligent Tunnelling, Rock Mechanics in Japan*, v.6, 1991.

Гегов, Е., *Методи и приложения на компютърния интелект в информационните технологии и системите за управление.* София, ИК "Св.Иван Рилски", 2003.

Гочев, Г., *Компютърно зрение и невронни мрежи,* София, ТУ, 1998.

Метакидес, Дж., А. Нероуд, *Принципи на логиката и логическото програмиране,* София, Виртех, 2000.

Джаксън, П, *Увод в експертните системи*. София, СОФТЕХ, 1999.

Rennie, S., A. Brandt, *An Expert Systems Approach for Predicting Mine Burial,* Fifth International Symposium on Technology and the Mine Problem, April 21-25, 2002.

Abel, M., L. Silva, & Co, *PetroGrapher: managing petrographig data and knowledge using an inteligent database application,* Expert Systems with Application, 26(2004) 9-18.

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 137-140

Framework and Functionality of the Tracking Subsystem in the Individually Adaptive Learning Management System (IALMS)

Svetoslav Zabunov, Kancho Ivanov

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

ABSTRACT: This work presents the framework and functionality of the Tracking subsystem in the Individually Adaptive Learning Management System (IALMS). As a result of the current learning management systems analysis, there is revealed a reality of resources offered to the e-learner by the computing machines that have never been mastered. These resources belong to the intelligent computer systems. While the modern e-learning systems utilize the multimedia and communications capabilities of computers, they don't pay adequate attention to the opportunity of a strategically planned conducting of the educational process. The small number of intelligent learning management systems differentiate from IALMS by that the latter represents a project of a generalized learning management system, not having strictly predefined pedagogical categories and structures. IALMS is built on three major units, situated subsequently along the information stream. They are: Tracking subsystem, Individualizing subsystem, and Adaptation subsystem. These units are typical for their programmability and flexibility. The current article examines the framework and functionality of the Tracking subsystem in IALMS.

СТРУКТУРА И ФУНКЦИОНАЛНОСТ НА СЛЕДЯЩА ПОДСИСТЕМА В ИНДИВИДУАЛНО-АДАПТИВНАТА СИСТЕМА ЗА ЕЛЕКТРОННО ОБУЧЕНИЕ (ИАСЕО)

РЕЗЮМЕ: Настоящата публикация представя структурата и функционалността на Следящата подсистема на Индивидуално-адаптивната система за електронно обучение (ИАСЕО). В резултат от анализа на разпространените системи за e-learning, се разкрива една реалност на неусвоени ресурси, които изчислителните машини предлагат на обучавания. Това са ресурсите, принадлежащи към сферата на интелигентните компютърни системи. Ако модерните системи за електронно обучение оползотворяват мултимедийните и комуникационни възможности на компютрите, те не обръщат достатъчно внимание на възможността за стратегически-планирано провеждане на учебния процес. Малкото на брой интелигентни системи за електронно обучение се различават от ИАСЕО по това, че последната представлява проект на обобщена система за e-learning, без строго предефинирани педагогически категории и структури. ИАСЕО е изградена от три основни звена, разположени последователно в информационния поток. Те са: Следяща подсистема, Индивидуализираща подсистема и Адаптираща подсистема. Тези звена се характеризират с програмируемост и гъвкавост. В настоящата статия се разглежда структурата и функционалността на Следящата подсистема на ИАСЕО.

Introduction

Individually adaptive learning management systems are based on the intelligent computer systems and perform adaptation of the educational process towards the learner aiming at an increase of educational results and satisfaction of the learner's needs and interests attainable in the process of learning and suitable with the educational course. This type of organizing a learning management system (LMS) is based on the possibility to store characteristic information about the learner into a database. The LMS user's behavior directly affects the interactive communication between the user and the system. To attain individualization of the educational process and consequential adaptation, this information should be taken into account and stored. Then this information is being analyzed and variations in the LMS's behavior towards the educated are being undertaken, based on this analysis. We call these changes in the LMS's behavior *adaptation* of the LMS towards the educated while the storing of characteristic information about the user – *individualization* as stated in Ivanov (2003). Adaptation and individualization concepts are thoroughly examined and defined by Brusilovsky (1999).

The current trends in individually adaptive e-learning offer versatile learning models suited to different pedagogic paradigms exploited in certain fields of education. Such approaches have been undertaken by Kinshuk et al (2000) and Kinshuk et al (2004).

Kinshuk and Taiyu Lin give a good example. The work presents a formalization scheme of the Exploration Space Control (ESC). Kinshuk defines the process of adaptation in two categories: adaptation of educational content and adaptation of learning paths (links). ESC also defines a number of adaptation control levels. These are certain operations on the adaptation process categories.

The Adaptive subsystem of the individually adaptive learning management system explores learning on generalized bases without predefined pedagogical categories and strategies. This approach proposes a versatile mechanism for formalization of different adaptive learning models. To achieve this task, a formal language for describing the generating structure of the educational material is used as a part of the Adaptation subsystem.

This paper examines the structure of a generalized intelligent e-learning system that separates the process of intelligent learning into stages that are tunable and hence not dependant on predefined pedagogic methods. The LMS presented in this article owns flexibility of defining both the categories of the individual information and the educational material structure. The current project could be looked at as a generalized model of an adaptive e-learning system, allowing the structure of the educational material and the functionality of the tracking, individualizing, and adaptive subsystems to be programmed. The structure of the Individually adaptive learning management system is presented in Ivanov (2004).

Basic Structure

The Individually Adaptive Learning Management System (IALMS) consists of a core of three subsystems:

1. Tracking subsystem

2. Individualizing subsystem
3. Adaptation subsystem

IALMS offers the following functionality. The e-learning system's behavior adapts to the learner's one, with the goal of maximizing the assigned results. The behavior adaptation is performed by the *Adaptive subsystem*. Adaptive subsystem alternates the output to the user taking into account the stored information about learners. This information is organized into individual profiles – one profile for each learner. The process of adaptation is impossible without preliminary individualization. The individualization process is carried out by the *Individualizing subsystem*. It is responsible for the creation of individual profiles of the learners. The individual profile consists of *characteristic information*, which is being collected in the process of interaction between the users and the LMS. To enable the LMS to follow the learner's behavior, it is needed a subsystem for tracking events that carry characteristic information. This system is called *tracking subsystem*. The latter includes the definition and following of a number of events that are called functional events. These carry characteristic information. Finally, to let the user communicate with the system, an auxiliary interface unit is implemented. Thereby arises the structure of an intelligent, adaptive, individualizing, and tracking learning management system - Individually Adaptive Learning Management System. The basic IALMS structure, presenting its philosophy is shown on fig.1. Fig.1 presents the information stream, cyclically passing through the educated and the system.

The information stream in IALMS is developed on one hand between the system and the learner, and on the other – among the different subsystems. Thus the information stream is divided into stages, each one of which is represented with the type of conveyed information.

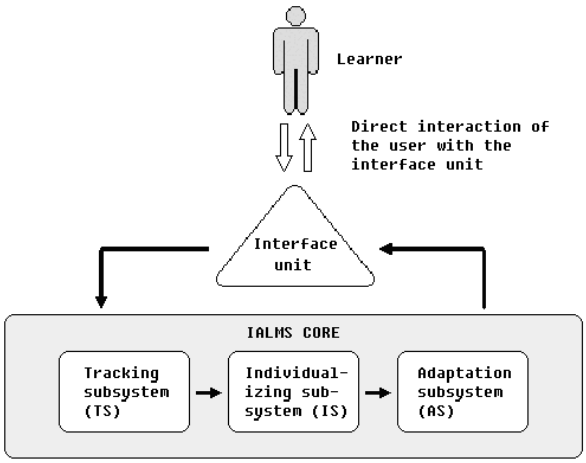


Fig. 1. IALMS basic structure

While the interface unit does not semantically process the information that passes through it, but only the form of its presentation, it does not belong to the IALMS core. The core consists of subsystems for semantic information processing. The information sent to the educated and received back from them, is called *educational material*. In the IALMS project the educational material concept is more general than its standard sense. The educational material consists of *sessions*. The session is composed of educational blocks, being passive or active. As an information stream between the educated and the system, the educational material carries two-way information:

1. Outgoing information: from IALMS to the learner
2. Incoming information: from the learner to IALMS

All blocks forming the sessions of the educational material may convey outgoing information, while only a subset of blocks may convey incoming information. The latter are called active blocks, and the others are called passive blocks.

Educational material definition

As earlier mentioned, educational material is the information stream flowing between the learner and the system. It is a two-way stream carrying incoming and outgoing information. Educational material consists of sessions. The session is the smallest undividable unit of the educational material. The educational content is delivered to the student one session at a time. Working over a part of a session or more than one session is not permitted. The comparison to traditional learning relates a session to a lesson form a textbook or a lecture of an educational course. There is one main difference, though, forming the adaptability features of the system. It is the variation capability of the session and hence of the educational material. Adaptation is the process of alternation of the session content aiming at delivering the most suitable content to the individual learner. Sessions consist of blocks. Generating an individual and adapted instance of a session is performed by selecting a subset of blocks form the generating structure of the educational material. The generating structure of the educational material is an information structure belonging to the Adaptation subsystem of IALMS and is described in Zabunov (2004). Then this subset of blocks is being merged and the newly generated session is being passed to the student. When the latter finishes working over the session they send back the session to the system and thus submit the so valuable incoming information that carries the characteristics of the learner. There are two types of blocks defined: passive and active. Passive blocks carry only outgoing information and they are part of the outgoing informational stream, while active blocks are allowed to carry two way information namely outgoing and incoming. That is why the incoming session consists only of active blocks as opposed to the outgoing session, which contains both of active and passive blocks. This is the educational material flow, beginning from the exit point of IALMS and ending into the entry point of the system. The exit point is the subsystem that generates educational material. This is the Adaptation subsystem (fig.1). The entry point is the Tracking subsystem, subject to this paper.

Tracking subsystem

The IALMS's tracking subsystem appears to be the entry point of the information stream to the IALMS core. Tracking subsystem processes only active blocks of each session. Educational material blocks own certain types defined in IALMS. According to its type, each active block is being processed by a corresponding *interpretation function*. The result from the work of the interpretation functions consists of a set of attribute values. Their meaning is implemented in the attributes forming each user's profile. The value of a given

attribute corresponds to the quantitative measurement of a given learner's characteristic. Block types are defined in the adaptation subsystem, where the educational material content and the generating structure of the educational material are being defined. Attribute types are defined in the individualizing subsystem and interpretation functions are setup in the tracking subsystem.

Tracking subsystem architecture

The tracking subsystem is the entry point of the information stream coming from the user. As described above, only active blocks are reaching the tracking subsystem. Each block has a type that is defined in the adaptation subsystem. According to the block's type a multiplexing procedure is carried out and each block from the information stream is directed to the appropriate interpretation function (see fig. 2). For each active block type an interpretation function is defined in the tracking subsystem. The purpose of the interpretation function is to interpret the result of the educational process involving the current student. The result of this interpretation is extracting the characteristic information about the user. Characteristic information is stored by the individualizing subsystem in the form of attribute values. A certain attribute corresponds to a certain characteristic of the educated. For example, an attribute is the student's logical thinking ability. Student's characteristics are relatively calculated by quantity levels expressed with floating point numbers.

When an active block arrives, it is assumed that it carries information about the defined categories of attributes. The interpretation function calculates the quantitive value of each of the attributes that are carried by the current block. Not all block carry information about all defined attributes. As a result of its execution the interpretation function returns a vector of attribute values. This vector is a subset of all defined attributes. The attributes are later processed by the individualizing subsystem where the personal file of each educated is being maintained. Defining attribute types, interpretation functions, and block types is a process involved in the creation of an educational course. When these elements are programmed the rest of the work for creating the educational course proceeds with entering of educational material into the adaptation subsystem and the individualizing and tracking subsystems remain untouched. Thus the educational course creation process divides into two stages. The first stage encompasses global course definitions. Here falls the configuration of the tracking subsystem. The second stage involves less technically related editing and concerns working on the adaptation subsystem only.

Conclusions and future work

The Individually adaptive learning management system project defines a generalized model of a tracking, individualizing, and adaptive e-learning system that enables the creation of specialized and still intelligent electronic learning environments. IALMS encompasses intelligent computing and modern e-learning strategies aiming to achieve a generalized programmable and flexible electronic educational environment.

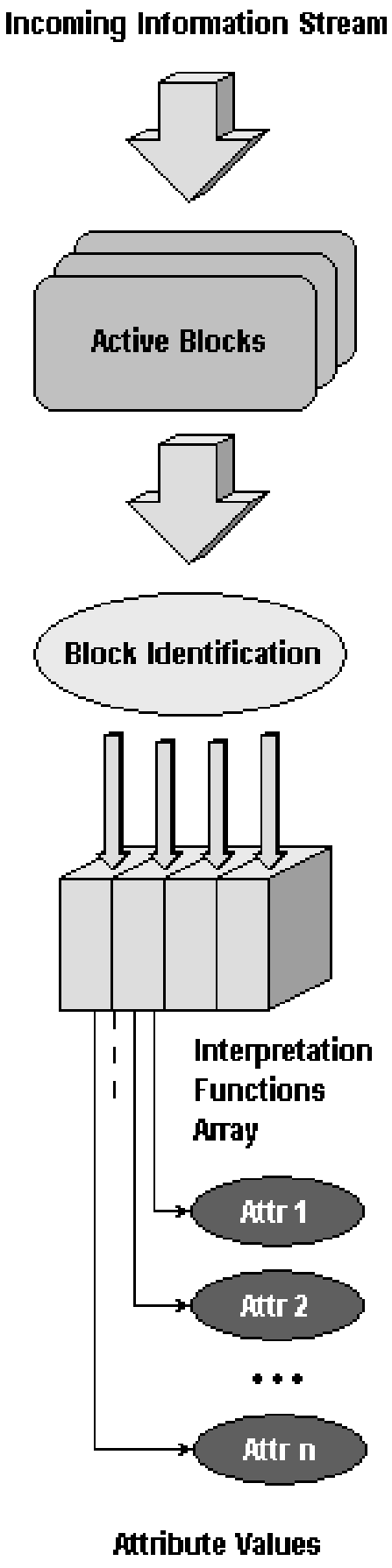


Fig. 2. Tracking subsystem architecture

References

Иванов, К., С. Забунов. 2003. Модел на индивидуално-адаптивна система за електронно обучение. - *Трудове на Научната Сесия РУ'2003*, под печат.

Маждраков, М., Т.Трендафилов и др. 1996. Обучението по ГИС в МГУ "Св. Иван Рилски. - *Международен симпозиум "Приложение на лазерни, GPS и GIS технологии в геодезията", София.*

Brusilovsky, P. 1999. Adaptive and Intelligent Technologies for Web-based Education - *KI - Kunstliche Intelligenz.*

Ivanov, K., S. Zabunov. 2004. Individually Adaptive Learning Management System Project. – *CompSysTech '2004, Rousse*, in printing.

Jianguo, L., Z. Xiaozhen, Q. Yuhui. 2002. Resource Organization and Learning State Control For Adaptive Learning System - *IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2002).*

Kinshuk, A., R. Oppermannn, R. Rashev, H. Simm. 2000. A Cognitive Load Reduction Approach to Exploratory Learning and Its Application to an Interactive Simulation - Based Learning System - *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 9 (3), 253-276.

Kinshuk, A., T. Lin. 2004. User Exploration Based Adaptation in Adaptive Learning Systems - *University of Electro-Communications, Tokyo, Japan.*

Ritter, S., J. Anderson, M. Cytrynowicz, O. 1998. Medvedeva. Authoring Content in thePAT Algebra Tutor. - *Journal of Interactive Media in Education,* (9) [www-jime.open.ac.uk/98/9].

Santos, O., E. Gaudioso, C. Barrera, J. Boticario. ALFANET. 2003. An Adaptive E-Learning Platform - *2nd International Conference on Multimedia and ICTs in Education (m-ICTE2003.)*

Tang, T., G. McCalla. 2003. Smart Recommendation for an Evolving E-Learning System – *aied2003 Artificial intelligence education - 11th International Conference on Artificial Intelligence in Education, Sydney Australia.*

Weber, G. 1999. Adaptive Learning Systems in the World Wide Web UM 99 - *7-th International Conference on User Modeling, June 20-24, 1999, Banff Centre, Banff Canada*

Zabunov, S., K. Ivanov. 2003. Methods and Forms of Teaching "Information Systems" and "Computer Networks and Conmmunications" with the Use of the Internet – *50th Annual of University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski" – Sofia, Bulgaria.*

Zabunov, S., K. Ivanov. 2004. A Language for Describing the Generating Structure of the Educational Material in the Individually Adaptive Learning Management System – *CompSysTech '2004, Rousse, Bulgaria*, in printing.

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Годишник, том 47, свитък III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, София 2004, стр. 141-146

Възможности за приложение на невронни мрежи в минната промишленост

Николай Янев

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

РЕЗЮМЕ. Болшинството от задачите в съвременната минна промишленост се характеризират със силно изразена неопределеност, нелинейност и многофакторност, което затруднява (прави невъзможно) прилагането на класическите аналитични методи за решаването им. С развитието на информационните технологии, и по-специално направлението изкуствен интелект, се даде възможност за решаване на поставените задачи, чрез приложение на невронни мрежи (НМ), като разширение и допълнение на методите на конвенциалното управление. Минната индустрия в България изостава от световните тенденции за приложение на НМ за решаване на сложни задачи в условия на недетерминираност. Автора на доклада има за цел да представи основните типове НМ и някои от проблемите в минната промишленост които подлежат на по-ефективно решаване чрез тяхното прилагане.

OPPORTUNITIES FOR NN IMPLEMENTATION IN MINING INDUSTRY

ABSTRACT. The majority of tasks of the contemporary mining industry are characterized with a strong indeterminateness, non-linearity and multy-factor influence, which hinders (or makes impossible) the implementation of the classical analytical methods for their solving and carrying out. Development of the information technologies, and especially of artificial intelligence direction, has provided an opportunity for solving of the assigned tasks by the use of neural networks (NN), regarded as an expansion and supplement to the conventional management methods. The mining industry in Bulgaria steps behind from the World's trends for NN application for solving of complex task and problems in conditions of non-determinability. The author' aim in this report is to present the major NN types, as well as some of the problems in the mining industry, which are subject to a more effective solving through the implementation these very same NN types.

Въведение

Интелигентните системи играят все по-голяма роля при проектирането на нови изделия и провеждането на научни изследвания, управление на сложни системи, вземане на решения в условията на силна недерминираност.

Системи с изкуствен интелект се използват за решаване на задачи свързани с описание на външна среда чрез свързаните с нея знания; създаване и управление на база от знания; възприемане на външната среда чрез зрителни, звукови и др. рецептори (датчици); разбиране на говор от компютърните системи; адаптация и самообучение въз основа на опита и т.н.

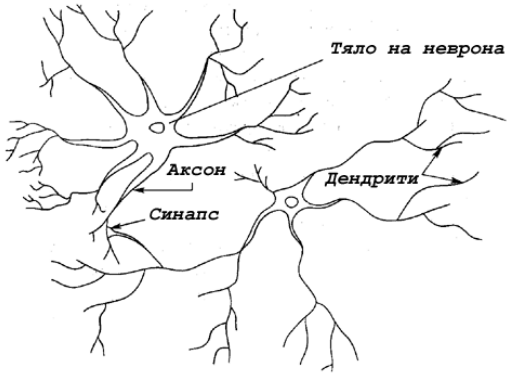
Болшинството от задачите в съвременната минна промишленост се характеризират със силно изразена неопределеност, нелинейност и многофакторност, което затруднява (прави невъзможно) прилагането на класическите аналитични методи за решаването им. С развитието на информационните технологии, и по-специално направлението изкуствен интелект, се даде възможност за решаване на поставените задачи, чрез приложение на невронни мрежи (НМ), като разширение и допълнение на методите на конвенциалното управление. Минната индустрия в България изостава от световните тенденции за приложение на НМ за решаване на сложни задачи в условия на недетерминираност.

В доклада се представят основните характеристики на НМ и се очертават възможностите им за приложение в минната промишленост.

Невронни мрежи – общи сведения

Биологичен неврон

Важно направление от ИИ са невронните мрежи. Те са форма на обработка на информацията със структури, подобни на човешкия мозък. Основните градивни елементи на (изкуствените) НМ са силно опростени модели на биологичните неврони, от които е съставен човешкият мозък.



Фиг. 1. Опростена схема на биологичен неврон

Дендрити представляват разклонени структури, които осигуряват сензорен вход към тялото на неврона (входни устройства на неврона). *Тялото на неврона* сумира мембранните потенциали между синапсите и дендритите и изпраща по аксона активиращо напрежение с определен размер. *Аксона* провежда електрическия сигнал от тялото на неврона до неговите синапси. *Синапсите* трансформират активиращото напрежение, получено по аксона, в електрически сигнали (импулси), които възбуждат или подтискат активността на съседните неврони (изходни устройства на

неврона). Отделните неврони са свързани помежду си (дендритите на всеки неврон получават входна информация от синапсите на други неврони и т. н.). Така те формират модули (центрове), които изпълняват специализирани функции. Всеки неврон след процес на възбуждане има период на възстановяване – време през което той не може да се възбуди отново или ще се възбуди при много посилно въздействие.

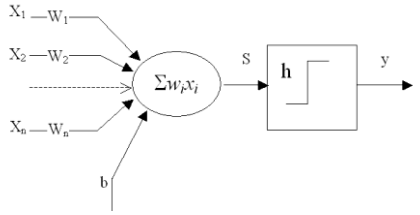
Изкуствени невронни мрежи

Изкуствените НМ могат да бъдат характеризирани като системи с изкуствен интелект (СИИ), които имат следните най-съществени особености:

- изкуствените НМ са опростен модел на биологичните НМ;
- НМ осъществяват разпределена паралелна обработка на входните данни;
- знанията в НМ се представят чрез теглата на връзките между отделните елементи (изкуствените неврони);
- НМ могат да решават сложни задачи, като за целта извършват относително малък брой стъпки;
- обучението е основен, съществен аспект на работата на НМ.

В хронологичен ред НМ и по специално системите базирани на тяхна основа, са се появили още през 50-те години на миналия век. Тогава беше разработена системата PERCEPTRON. Тя представлява самоорганизираща се система за разпознаване на образи и класификация. В следващите години работата по невронните мрежи позатихна, но в началото на 80-те години на миналия век се отбеляза повишен интерес към тях и създаване на редица приложения.

НМ са далечен структурен аналог на човешката нервна система и на процеса на обработване на информация от нея. Моделите на формалния (изкуствен) неврон не са биоподобни, а по-скоро са математическа абстракция, на живия неврон. Те са изчислителни модели, които се състоят от множество невронни елементи, наречени възли, свързани по определен начин и подчинени на общ метод за обучение и функциониране. Възлите в мрежата се наричат процесорни или обработващи елементи (фиг. 2.). Всеки процесорен елемент може да се намира в спокойно или активно състояние. Той има няколко входа и един изход. Степента на взаимодействие на всеки входен сигнал върху състоянието на обработващия елемент се задава с неговия тегловен коефициент. Процесорния елемент има нелинейна и скокообразно изменяща се предавателна функция. Поради това той сумира подадените входни въздействия и когато резултатът превишава дадена прагова стойност, елементът се превключва от активно в пасивно състояние. Тъй като това събитие може да настъпи при различни състояния на тегловните коефициенти на входните въздействия, то е възможно и различно поведение на мрежата от свързани процесорни елементи.



Фиг. 2. Процесорен елемент

Действието на процесорния елемент се описва с формулите.

$$S = \sum_{i=1}^{n} w_i x_i + b \qquad (1)$$

$$y = f_h(S) \qquad (2)$$

където $\mathbf{x_i}$ – входен сигнал, i = 1...n; $\mathbf{w_i}$ тегловен коефициент на $\mathbf{x_i}$ (степен на въздействие на входния сигнал върху процесорния елемент), i = 1...n; **b** – смущение; **S** – резултантен сигнал; **h** - предавателна (активационната) функция; **y** – изходен сигнал.

Във всяка НМ се различават три типа възли: входни, които получават данни от средата, в която работи мрежата; изходни, които изпращат данни навън от системата и скрити, чиито входни и изходни сигнали остават в рамките на самата мрежа. По време на работа невроните могат да променят състоянието си синхронно или асинхронно. В първия случай всички неврони се превключват едновременно, а във втория всеки възел има вероятност да променя състоянието си в даден момент и в определено време, като правило, само един неврон може да направи това.

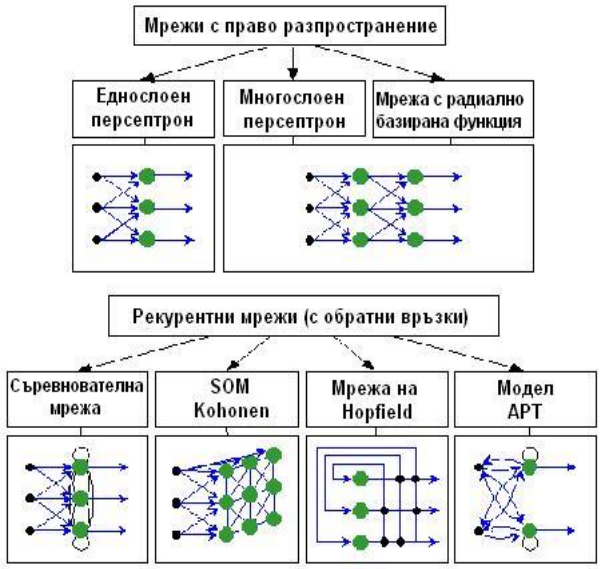
Връзките между невроните се извършват посредством дъги – входни въздействия. Всяка връзка се свързва с определено тегло. Ако то е положително, то връзката се нарича възбуждаща, ако е отрицателно – подтискаща. Поради това ИНМ могат да бъдат разгледани като ориентирани графи с тегловни връзки, в които изкуствените неврони се явяват възли. По архитектурата на връзките ИНС могат да бъдат групирани в два класа (фиг. 3): мрежи с право разпространение, в които графите нямат “примки”, и рекурентни мрежи, или мрежи с обратни връзки. Най – разпространения тип мрежа от първия клас се нарича многослоен персептрон. В тази мрежа невроните са разположени в слоеве и има еднопосочни връзки между слоевете. Мрежите с право разпространение се явяват статически в, смисъл че на зададен вход те изработват една съвкупност от изходни стойности, независещи от предишното състояние на мрежата. Рекурентните мрежи са динамични, защото обратните връзки в тях модифицират входа на неврона, което води до изменение на състоянието на мрежата.

Различните невронни архитектури имат своите предимства и недостатъци. Директно сравнение между тях е невъзможно, тъй като различните типове НМ използват различна информация при функционирането си. През последните години бяха постигнати добри резултати чрез модифицирането на модели НМ, посредством обединението им с други такива.

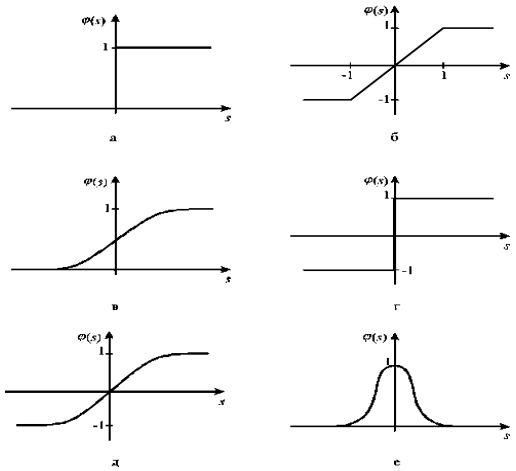
От значение са и теглата на връзките, както и видът на активационната функция и др. Активационната функция на неврона, се определя от зависимостта на големината на активиращото напрежение от сумата на получените входни напрежения във волтове. Най-често срещаните типове активационни функции са показани на фиг. 4. По оста x се задава сумата от входните сигнали (сумата от активиращите напрежения на входните елементи), а по оста y - сумата от изходните сигнали (сумата от активиращите напрежения на изходните елементи).

Според вида на входните величини известните модели НМ се разделят на два вида - с двоичен и аналогов вход.

Според разположението на невроните се различават еднослойни и многослойни мрежи. Допускат се връзки и между слоевете в многослойните НМ. За удобство се приема, че всеки елемент от i-я слой е свързан с всеки елемент от (i+1)-я слой, но е възможно теглата на някои връзки да са нули.



Фиг. 3. Архитектура на мрежите с мрежи с право разпространение и рекурентни мрежи (мрежи с обратни връзки)



Фиг. 4. Активационна функция на неврона
а), г) — стъпаловидна; б) — линейна с насищане; в) — сигмоидална; д) — тангенциална; е) — Гаусова функция

НМ решават различни задачи от областта на ИИ (класификация, диагностика, оптимизация, експертни системи, анализ на естествени езици, анализ и синтез на реч, обработка и разпознаване на образи, адаптивно управление, събиране и обработка на данни в реално време, идентификация на обекти по получени сигнали от външни източници и т.н.). Работата им се характеризира с висока степен на паралелизъм (преодоляват се ограниченията на фон-Нойманова компютърна архитектура и тясното място на многопроцесорните системи - комуникацията) и адаптивност – могат да бъдат обучавани. Заедно с това те осигуряват разпределеност на обработката на информацията, високо бързодействие и надеждност (даже и при "умиране" на някои неврони, както е и при човека, НМ може да работи правилно).

Компютърната реализация на НМ става главно чрез програмно симулиране – моделиране на мрежата чрез програма за стандартен компютър, чрез апаратно емулиране със специализирана електронна схема и съответна програма, базирана на стандартен компютър или чрез свръхголями специализирани интегрални схеми, когато НМ е поместена в един чип със свръхвисока степен на интеграция.

За да се приложи успешно НМ за решаване на реална задача е нужно правилно да се избере модела НМ, достатъчното количество, информацията за обучение на НМ и алгоритъм за обучение със съответните параметри. От особена важност е количеството на входната информация на НМ и доброто й структуриране, както и възможностите за интерпретация на решението дадено от НМ. Най-трудоемки са процесите при подготовка на данните за обучение и самото обучение на НМ.

Ограничения върху моделите на неврона

НМ притежават и някои ограничения, по-важните от които са: ниско бързодействие при голям брой процесорни елементи; могат да се обучават, но не е възможно да се разбере в даден момент какво те знаят и могат и какво не знаят и могат; невъзможността да обяснят своето решение (като ЕС) и пътя по който са стигнали до него - НМ предлагат непрозрачно, неструктурирано представяне на знания; изискват сравнително дълъг период от време за обучение при голям брой възли в мрежата; липсата на ясен алгоритми за избор на функцията на активация и механизми, регулиращи работата на мрежата като цяло (пример - хормонална регулация на активността в биологическите неврони мрежи); значителните различия в сравнение с биологичния неврон – отсъствието на нервни импулси, прекомерната формализация на понятията "праг", "тегловни коефициенти" и др. Като основен недостатък на НМ може да се посочи и необходимостта от много голям обем на обучаващата извадка - недостига на данни довежда до построяване на модел, не отразяващ адекватно обекта.

Независимо от това НМ са едно перспективно направление за използване на неалгоритмичните подходи за постигане на интелигентно поведение.

Обучение на ИНМ

Едно от най-важните свойства на невроподобните мрежи е способността им за самоорганизация, самоадаптация с цел подобряване на качествата на функциониране. Това са постига с обучение на мрежата - алгоритми задаващи набор от обучаващи правила. Обучаващите правила определят, как ще се изменят връзките в отговор на входното въздействие. Обучението е основано на увеличаване сила на връзките (теглата на синапса) между едновременно активираните неврони. По този начин, често използваните връзки се усилват, което обяснява феномена – обучение чрез повторения и привикване. Математически това правило може да се запише така:

$$w_{ij}(t+1)=w_{ij}(t)+a \qquad (3)$$

където $\mathbf{w_{ij}(t)}$ и $\mathbf{w_{ij}(t+1)}$ – стойностите на връзките между **i**-тия и **j**-тия неврони съответно до и след неговото изменение, **a** – скорост на обучение.

След като НМ бъде обучена, тя може да започне работа. На входа ѝ се подават въздействия, които в общия случай могат да се различават от шаблонните с които тя е обучена. В нея започват да се променят състоянията на процесорните елементи до достигане на стабилност, при която в последващите цикли всички елементи остават в едно и също състояние. В този случай НМ е определила изходните реакции правилно. Обучението се осъществява посредством *обучаваща извадка* (набор тестови примери) – това е релационна таблица с данни, състояща се от редове, съдържащи обучаващи примери, и стълбове, представляващи структурата на входните параметри. Минималното количество примери се определя по формулата

$$K=10*N \qquad (4)$$

където **K** е количеството примери, а **N** – броя на входните параметри.

Съществуват три основни типа обучение на НМ – обучение с учител (*надзиравано обучение, supervised learning*), самообучение (*ненадзиравано обучение, unsupervised learning*) и смесено.

При обучението с учител се следи разликата между получения и очаквания изход на мрежата (учителят задава очаквания изход на мрежата) и итеративно се извършват корекции на теглата на връзките съгласно избраното обучаващо правило. Получения изходен вектор се сравнява с изисквания (търсения). Ако те съвпаднат, обучението не продължава. В противен случай се прави модификация на връзките в съответствие с избрания парадигма.

При самообучението липсва учител, т.е. липсват предварителни данни за правилния изход на мрежата. Теглата на връзките се настройват така, че представянето на данните в мрежата да е най-добро съгласно използвания (зададения) критерий за качеството на представянето. Извършва се сравнение на входния образа с намираш се в паметта на мрежата шаблон. Ако няма подходящи шаблони, с които може да бъде отъждествен изследвания образ, то се създава нов шаблон, съдържащ в себе си този входен образ. За в бъдеще новият шаблон ще се използва наравно с другите.

Разликата между двата типа обучение се състои в количеството на априорната информация. Несупервайзово обучение има по-малка изчислителна сложност и точност. Повечето от супервайзовите НМ алгоритми се свеждат до стохастична апроксимация.

Най-популярните модели НМ, алгоритми за обучението им и типа на задачите които те решават са представени в таблица 1.

.

Таблица 1.

Обучение	**Обучаващо правило**	**Архитектура**	**Алгоритъм на обучение**	**Задача**
С учител	Корекция на грешката	Еднослоен и многослоен персептрон	Алгоритъм на обучение на персептрона Обратно разпространение Adaline и Madaline	Класификация Апроксимация на функции Предсказване, управление
	Болцман	Рекурентна	Алгоритъм на обучение на Болцман	Класификация
	Хеб	Многослойна с право разпространение	Линеен дискриминантен анализ	Анализ на данни Класификация
	Съревнование	Съревнование	Векторно квантуване	Категоризация в клас Сгъстени данни
		Мрежа ART	ARTMap	Класификация
Без учител	Корекция на грешката	Многослойна с право разпространения	Проекция на Самон	Категоризация в клас Анализ на данни
	Хеб	Право разпространение или съревнование	Анализ на главните компоненти	Анализ на данни Сгъстени данни
		Мрежа Хопфилд	Обучение асоциативна памет	Асоциативна памет
	Съревнование	Съревнование	Векторно квантуване	Категоризация Сгъстени данни
		SOM Кохонен	SOM Кохонен	Категоризация Анализ на данни
		Мрежа ART	ART1, ART2	Категоризация
Смесено	Корекция на грешката и съревнование	Мрежа RBF	Алгоритъм на обучение RBF	Класификация Апроксимация на функции Предсказване, управление

Приложение на НМ в минната промишленост

През последните 20 години изследванията в областта на приложението на НМ отбелязаха значителен напредък. Предпоставка за това бе осезаемото увеличаване на мощността на съвременните компютри и измервателни уреди, изграждането на компютъризирани информационни системи и голямото количество натрупани в тях данни и не на последно място развитието на световната мрежа Internet, като източник на информация.

Най–широко приложение НМ са намерили при разпознаване на образи и говор и при задачи свързани с класификация, оптимизация и прогнозиране. Работещи системи с НМ има и в банковото дело (прогнозиране на икономически показатели, оценка на риска и т.н.), военната промишленост (автоматично пилотиране, обработка на звукови сигнали и т.н.), биомедицината (анализ на ретината и т.н.), метеорологията и др. НМ са особено ефективни там където е нужен аналог на човешката интуиция – при разпознаване на образи, при аналитични прогнози, при превода от един език на друг и т.н. Т. Атанасова в "Подходи за интегриране на невронни мрежи в системите за управление" (1998) прави обстоен анализ на възможностите за интегриране на НМ в САУ. Фирми като Motorola, IBM и Siemens от години използват НМ в контролерите си.

За да бъде оправдано използването на НМ е нужно да не съществува удовлетворително алгоритмично решение на поставената задача или да не са известни принципите за решаването й, но да има достатъчно количество примери. Това прави НМ незаменимо средство за управление на сложни недерминирани процеси, каквито са повечето в минната промишленост.

През последните години освен многото теоретични разработки с НМ в минната промишленост бяха внедрени не малко реални приложения използващи НМ. Въпреки, че СИИ с приложението на НМ, са област която все още подлежи на изследване, системи с НМ намериха широко приложение при добива на нефт и анализа на геоложка информация, най-вече в предексплоатационното проучване на находищата, при определяне на геометрията (размери и ориентация) му. Съществуват и разработки касаещи откриване на неизправности в оборудването, изследване на залежи по космически снимки, разпределението на електро енергията, управлението на процеси, анализа на примесите и т.н.

Възможностите за обучение на НМ (способността им да запомнят експериментални знания и да ги направят достъпни за използване) и липсата на изискване за познаване на строгия математичен модел на обекта ги правят естествено предпочитани дори и в области в които дават резултати сравними с тези от по-конвенциалните методи за оценка и оптимизация. Точността на системите с НМ зависи най-вече от наличието на примери в анализирания обект (например находище), а не от предположенията направени по време на създаване на модела му. Друго предимство на НМ пред конвенциалните методи е паралелната им структура, която позволява да се увеличи устойчивостта по отношение на частични повреди в мрежата и скоростта на обработка на информацията, което прави възможно бързото реализиране на НМ за целите на управлението в реално време. Също така НМ могат да работят както с количествена така и с качествена информация, по този начин те се представят като свързващо звено между традиционните технически системи и методите за обработка на информация от областта на изкуствения интелект.

Възможностите на НМ да бъдат използвани като апроксиматори на произволни нелинейни съответствия и способността им за обучение и адаптация са предпоставки за приложението им към многомерни системи, работещи в помалко детайлизирано описана среда при непълна и променяща се информация за обекта. Именно такива системи представляват минните предприятия.

Добри резултати в областта на анализа на данни, са постигани след приложение на НМ. НМ могат да бъдат използвани при откриване на закономерности и прогнозиране на случайни изменения на геоложките показатели, при поточното изготвяне на валиограмите и структурните дъги, както и при изготвяне на блочния модел. НМ позволяват да се увеличи производителността и да се подобри качеството на управление чрез по-прецизно планиране с оценка на запасите и прогнозиране на технико–икономическия ефект, свързан с влиянието на пазара върху производството.

Всеки подход се нуждае от верификация преди практическото му използване, затова адаптивните системи с НМ се оценяват чрез компютърни симулации. Днес съществуват много софтуерни продукти от такъв характер, като MATLAB, NeuralWorks и др. Освен това алгоритмите на повечето, основни модели НМ са разписани и на C++, което ги прави достъпни за по-широк кръг потребители.

С утвърждаването на XML стандарта, започнаха да се търсят реализации на описателни (*markup)* езици, надхвърлящи Web приложенията. За описание на НМ се използват езици като Neural Network Markup Language (NNML) и Predictive Model Markup Language (PMML). В повечето случай тези езици за описание на модели невронни мрежи са базирани на нотации на XML.

Заключение

Теорията на НМ днес вече е самостоятелно направление на науката, занимаващо се с решение на сложни практически задачи. С напредъка тази област ще се разширява и спектъра на решаваните задачи от НМ измествайки съществуващите математически и статистически модели.

Перспективни направления в изследването на НМ са:

- СУБД с включени невро-мрежови алгоритми – за откриване на "скрити" знания
- Нерво-мрежови ЕС - необходимостта от реализиране на експертни системи с алгоритми на НМ възниква при значително увеличение на броя на правилата и изводите в тях.
- Оптични нерво-компютри
- Употребата на генетични алгоритми за обучение на НМ
- Нанотехнологиите и виртуалната реалност

Тенденция при автоматизацията на минно добивната промишленост е се по-силното навлизане на технологии базирани на НМ, които могат да се използват при развитието на модели, явяващи се трудни, или понякога даже невъзможни, за идентификация.

Чрез прилагане на НМ, би могло да се постигне по-висока ефективност при технологиите за добив и проучване, повишаване на качеството на методите и средствата за оперативен контрол, а също и по-добър икономически ефект.

Литература

Атанасова Т. 1998 Подходи за интегриране на невронни мрежи в системите за управление, *Автоматика и информатика.* 2, 7-15 с.

Гаврилов А. В. *Лабораторный практикум по нейронным сетям*, Новосибирский Государственный Технический Университет, Кафедра Вычислительной Техники

Гаврилов А. В., В. М. Канглер, С. А. Зайцев. 2003 Программа анализа баз данных с помощью нейронных сетей. *Труды российской конф. "Нейроинформатика-2003"*, М.

Георгиев Г. 1996. *Системи с изкуствен интелект*. С., Пеликан АЛФА

Заенцев И. В. 1999 *Нейронные сети: основные модели*. Воронеж: ВГУ

Касабов Н., Г. Демирев. 1990 *Изкуствен интелект - проблеми и приложения*. С., Техника

Клепиков В. Б., К. В. Махотило, С. А. Сергеев, И. В. Обруч. 1999 Применение методов нейронных сетей и генетических алгоритмов в решении задач управления электроприводами. *Электротехника*, № 5,. С. 2-6

Нишева М. М., Д. П. Шишков. 1995 *Изкуствен интелект.* Добрич, Интеграл 142-154 с.

Сенилов М. А., В. А. Тененев, Н. Б. Паклин**.** Модели радиальных нейронных сетей в задачах промышленной геофизики. *Труды IV межд. науч.-техн. конференции "Информационные технологии в инновационных проектах"*.Ч. 2. С. 85-87

Тененев В. А., М. А. Сенилов, Н. Б. Паклин. 2002 Возможности применения интеллектуальных систем в задачах интерпретации каротажных диаграмм *Труды науч.-техн. конференции, посвященной 50-летию ИжГТУ*. - Ижевск: Изд-во ИжГТУ, Ч. 2. - С. 147-152

Тененев В. А., М. А. Сенилов, Н. Б. Паклин. 2002 Классификация пластов по результатам геофизических исследований скважин. *Вестник ИжГТУ*. Ижевск: Изд-во ИжГТУ, Вып. 5. С. 14-16

Anderson D.,G. McNeill. 1992 *ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS TECHNOLOGY*. New York, Kaman Sciences Corporation

Kapageridis, I. K. 2002 Artificial Neural Network Technology in Mining and Environmental Applications, *Mine Planning and Equipment Selection (MPES),* Bouzov Castle, Czech Republic, September 9-11

Ralston J. C., D. W. Hainsworth, R. J. McPhee, D. C. Reid, C. O. Hargrave. 2003 Application of signal processing technology for automatic underground coal mining machinery. *ICASSP'03*

Ramakrishnan N., A. Y. Grama. *Mining Scientific Data*. - електронна публикация

Rombach M. 2001 *Updating Digital Geo-data with High-resolution InSAR Data.* – електронна публикация

Piatetsky-Shapiro G., Knowledge Stream Partners. 1999 The Data-Mining Industry Coming of Age, *IEEE INTELLIGENT SYSTEMS*, NOVEMBER/DECEMBER

Prokazov S. A., *Application of neural networks for simulation of oil reservoirs* – електронна публикация

http://www.dmg.org

http://www.nnml.alt.ru