



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИ СЪЮЗ ПО МИННО ДЕЛО, ГЕОЛОГИЯ И МЕТАЛУРГИЯ
SCIENTIFIC AND TECHNICAL UNION OF MINING, GEOLOGY AND METALLURGY



СБОРНИК

**Национална научно-техническа конференция
с международно участие**

АВТОМАТИЗАЦИЯ В МИННАТА ИНДУСТРИЯ И МЕТАЛУРГИЯТА

БУЛКАМК '22

27 - 28 октомври 2022

**Национален дом на науката и техниката
гр. София, ул. "Г. С. Раковски" № 108**



**НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИ СЪЮЗ
ПО МИННО ДЕЛО, ГЕОЛОГИЯ И МЕТАЛУРГИЯ**

СЪОРГАНИЗАТОРИ

Федерация на научно-техническите съюзи в България
Съюз по автоматика и информатика “Джон Атанасов”
Български Национален комитет на ISAMC
Българска минно-геоложка камара
Българска асоциация на металургичната индустрия
Минно-геоложки университет “Св. Иван Рилски”
Химикотехнологичен и металургичен университет
“Метрополитен” ЕАД
Министерство на икономиката
Министерство на енергетиката

СБОРНИК С ДОКЛАДИ

Национална научно-техническа конференция с международно участие

“АВТОМАТИЗАЦИЯ В МИННАТА ИНДУСТРИЯ И МЕТАЛУРГИЯТА”

БУЛКАМК '22

**PROCEEDINGS OF
THE NATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE
WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION**

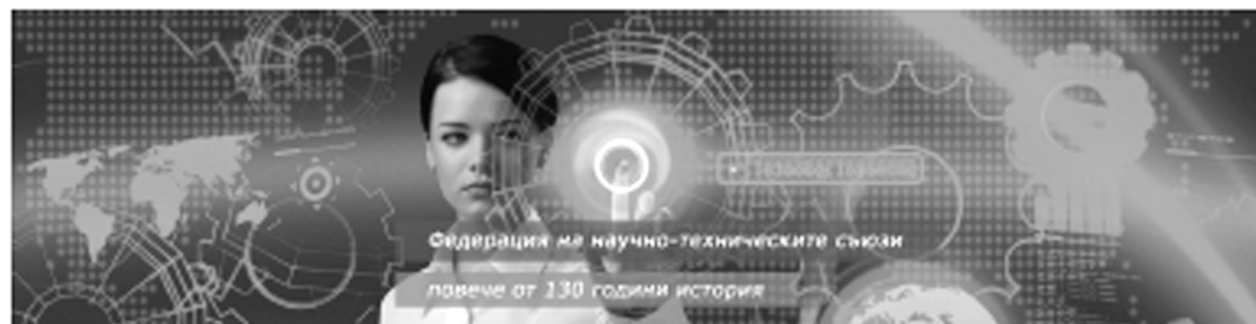
“AUTOMATION IN MINING INDUSTRY AND METALLURGY”

ИЗДАТЕЛСКИ СЪВЕТ

проф. д-н Иван Лалов, акад. Васил Сгурев,
проф. д-р Коста Бошнаков, проф. д-р Евтим Кърцелин,
доц. д-р Трайчо Пензов

Научно-технически съюз по минно дело, геология и металургия

ISSN: 1314-4537



Федерацията на научно - техническите съюзи (ФНТС) в България, е творческо - професионално, научно-просветно, неполитическо сдружение с нестопанска цел на юридически лица - съсловни организации, регистрирани по ЗЮЛНЦ, в които членуват инженери, икономисти и други специалисти от областта на науката, техниката, икономиката и земеделието. През 2015 г. ФНТС чества 130 години от учредяването си.

ФНТС обединява 19 национални сдружения - научно-технически съюзи (НТС) и 34 териториални сдружения - ТС на НТС, в които членуват над 15000 специалисти от цялата страна.

ФНТС е съучредител и член на Световната федерация на инженерните организации (WFEO). ФНТС членува и в Европейската федерация на националните инженерни асоциации (FEANI).

ФНТС е собственик на еднолично дружество с ограничена отговорност "ИНОВАТИКС" ЕООД което се занимава с инженерно-внедрителска дейност.

ФНТС издава свой собствен вестник "Наука и общество". Членове на ФНТС издават 12 научно-технически списания.

Към ФНТС функционира Център за професионално обучение, лицензиран от НАПОО - към Министерски съвет.

Основните задачи на ФНТС са:

- Да утвърждава организацията като активен член на гражданското общество, да съдейства за повишаване общественото влияние и престижа на българските инженери, икономисти, специалисти в земеделието, техници, учени и изобретатели.
- Да стимулира и насърчава творческата активност и постижения на своите членове, както и да защитава професионалните им интереси.

ФНТС, съвместно с националните и териториалните сдружения, организира годишно повече от 600 научно - технически мероприятия: конференции, симпозиуми, семинари, дискусии и др.

Нашият Дом на техниката се намира на ул. Г. Раковски 108, в гр. София.

Повече информация ще намерите на www.FNTS.bg.

НАЦИОНАЛЕН ОРГАНИЗАЦИОНЕН КОМИТЕТ

ПРЕДСЕДАТЕЛ:	
доц. д-р инж. Кремена Дедеянова	Председател, НТС по минно дело, геология и металургия
ПОЧЕТНИ ПРЕДСЕДАТЕЛИ:	
проф. д-р инж. Цоло Вутов	Почетен председател, НТС по минно дело, геология и металургия
проф. д-р Иван Лалов	Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
ЗАМ. ПРЕДСЕДАТЕЛИ:	
доц. д-р Трайчо Пензов	Съюз по автоматика и информатика "Джон Атанасов"
доц. д-р Даниела Гочева	Химикотехнологичен и металургичен университет
доц. д-р Ромео Александров	Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
инж. Кирил Йончев	"Елаците-мед" АД
СЕКРЕТАР:	
доц. д-р Ясен Горбунов	Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
ЧЛЕНОВЕ:	
доц. д-р Ангел Зъбчев	Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
доц. инж. Веселин Акиванов	Съюз по автоматика и информатика "Джон Атанасов"
д-р инж. Владимир Вутов	НТС по минно дело, геология и металургия
инж. Даниел Цветков	"Златна Панега - Цимент" АД
инж. Делчо Николов	"Асарел Медет" АД
инж. Драгомир Драганов	"Елаците-Мед" АД
проф. д-р Ивайло Копрев	Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
инж. Иван Богданов	МДЗ "Балша" АД
проф. д-р Илия Гърков	"Дънди прешъс металс Челопеч" ЕАД
инж. Илза Чинкова	"Мини Марица-изток" ЕАД
инж. Ленко Йорданов	"КЦМ" АД
доц. д-р Никола Добрев	"КЦМ" АД
проф. д-р инж. Николай Вълканов	Българска минно-геоложка камара
инж. Пантелей Матанов	"Асарел Медет" АД
инж. Пламен Петров	"Дънди прешъс металс Челопеч" ЕАД
инж. Политими Паунова	Българска асоциация на металургичната индустрия
инж. Румен Биков	"МИНПРОЕКТ" ЕАД
инж. Румен Цонев	"КЦМ 2000" АД
проф. д-р Сеня Терзиева	Химикотехнологичен и металургичен университет
проф. д-р Станислав Топалов	Асоциация "Български въгледобив"
инж. Стоян Пехливанов	"КЦМ" АД
инж. Щерьо Щерев	НТС по минно дело, геология и металургия

НАЦИОНАЛЕН ПРОГРАМЕН СЪВЕТ

ПРЕДСЕДАТЕЛИ:

акад. Васил Сгурев

Институт по информационни и
комуникационни технологии, БАН
Председател на УС на САИ "Джон Атанасов"

проф. д-р Коста Бошнаков

ЗАМ. ПРЕДСЕДАТЕЛИ:

проф. д-р Евтим Кърцелин

Минно-геоложки университет "Св. Иван
Рилски"

доц. д-р Димитър Пенев

Технически университет-София

проф. д-р Идилия Бачкова

Химикотехнологичен и металургичен
университет

ЧЛЕНОВЕ:

доц. д-р Анатолий Ангелов

Минно-геоложки университет "Св. Иван
Рилски"

проф. д-р Емил Михайлов

Химикотехнологичен и металургичен
университет

проф. д-р Александра Грънчарова

Химикотехнологичен и металургичен
университет

доц. д-р Красимир Маринов

Технически университет - Габрово

доц. д-р Орлин Петров

Русенски университет "Ангел Кънчев"

ТЕМАТИЧНИ НАПРАВЛЕНИЯ

- Методи и средства за измерване, диагностика и управление
- Автоматизация на електрозадвижването
- Автоматизация на добива и преработката на рудни и нерудни суровини
- Автоматизация на металургичното производство
- Автоматизация на циментовото производство
- Управление на енергийните системи и енергийна ефективност
- Автоматизация на добива, транспорта, съхранението и разпределението на нефт и газ
- Системи и устройства за екологичен мониторинг и управление на пречиствателни процеси
- Информационни и управляващи системи

СЪДЪРЖАНИЕ

ПОСТИЖЕНИЯ, ПРОБЛЕМИ И ЗАДАЧИ НА СЪВРЕМЕННАТА НАУКА ЗА ОСИГУРЯВАНЕ НА БЕЗОПАСНО И УСТОЙЧИВО РАЗВИТИЕ НА СЪВРЕМЕНОТО ИНДУСТРИАЛНО ОБЩЕСТВО ПРЕЗ XXI ВЕК	1
Евтим Кърцелин	
УПРАВЛЕНИЕ НА ЦИМЕНТОВИ МЕЛНИЦИ	23
Димитър Пенев	
CORRELATION METHOD FOR INVESTIGATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF ORE MILLS	33
Traycho Penzov, Plamen Petrov	
УПРАВЛЕНИЕ НА НАТОВАРВАНЕТО НА ПОЛУАВТОГЕННА МЕЛНИЦА ПО КОСВЕН ВИБРАЦИОНЕН ФАКТОР	38
Пламен Петров	
ИЗБОР НА ИНФОРМАЦИОННО – УПРАВЛЯВАЩА СТРУКТУРА НА СИСТЕМАТА ЗА НАТОВАРВАНЕ НА ПОЛУАВТОГЕННА МЕЛНИЦА	45
Пламен Петров	
ECOLOGICAL MONITORING OF CONTAMINATED SOILS AS A RESULT OF ANTHROPOGENIC ACTIVITY. INDICATORS OF ONGOING PROCESSES, CHANGES IN CHEMICAL COMPOSITION AND DEPLETION OF NUTRIENTS IN SOILS	52
Ivaylo Nikolov	
ОПТИМИЗАЦИОННИ ПОДХОДИ ПРИ ЕЛЕКТРОННОЛЪЧЕВО ЗАВАРЯВАНЕ, ПОВЪРХНОСТНА МОДИФИКАЦИЯ И ЛИТОГРАФИЯ	57
Володя Джаров, Ясен Горбунов	
ИНТЕЛИГЕНТНИ СИСТЕМИ И ТЕХНОЛОГИИ С ИМПУЛСЕН ТОК С КОМПЮТЪРНО УПРАВЛЕНИЕ ЗА ЕЛЕКТРОЕКСТРАКЦИЯ И ЕЛЕКТРОРАФИНАЦИЯ НА МЕТАЛИ ОТ ЕЛЕКТРОЛИТНИ РАЗТВОРИ И ПОЛУПРОДУКТИ ОТ ОЛОВНИ ОТПАДЪЦИ	64
Стоян Гишин, Иван Енчев, Владимир Димитров	
ИНТЕЛИГЕНТНИ СИСТЕМИ И ТЕХНОЛОГИИ С ИМПУЛСЕН ТОК И КОМПЮТЪРНО УПРАВЛЕНИЕ ЗА ИНДУСТРИАЛНО ПРОИЗВОДСТВО, СЪХРАНЕНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЯ ОТ РАЗЛИЧНИ ВЪЗОбНОВЯЕМИ ЕНЕРГИЙНИ ИЗТОЧНИЦИ	69
Стоян Гишин, Владимир Димитров	

СИСТЕМА ЗА ЕНЕРГИЕН МЕНИДЖМЪНТ. ЗАСНЕМАНЕ НА ТОВАРОВИ ГРАФИЦИ НА АКТИВНА И РЕАКТИВНА ЕНЕРГИЯ НА СТРАНА 110 KV.	74
Полина Кесова	
FINITE ELEMENT ANALYSIS OF HIGH-FREQUENCY TRANSFORMER	80
Nikolai Iliev	
ПРОИЗВОДСТВО НА ЕЛЕКТРИЧЕСКА И ТОПЛИННА ЕНЕРГИЯ ОТ ПРИРОДЕН ГАЗ	87
Веселин Митков, Лъчезар Георгиев, Николай Лаков	
МЕТАЛУРГИЧНИ СИМУЛАЦИИ ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА СТРАТЕГИЯ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ФАБРИКАТА	92
A. Remes и J. Moilanen	
ИНТЕЛИГЕНТНА АПАРАТУРА КАТО ОСНОВА ЗА ОПТИМИЗАЦИЯ НА ПРОЦЕСИ	93
J. Newcomb и G. Legrand	
ИНФОРМАЦИОННО ТАБЛО ЗА АНАЛИЗ НА РАБОТНИТЕ ПРОЦЕСИ С ИЗПОЛЗВАНЕ НА ДАННИ ОТ ДИСПЕЧЕРСКА СИСТЕМА	94
Петко Пенков, Младен Недков	
АСМО МОБАЙЛ – СИЛАТА НА ИНФОРМАЦИЯТА ПРЕДОСТАВЕНА НА МОБИЛЕН ТЕЛЕФОН В РЕАЛНО ВРЕМЕ	100
Младен Недков	
АВТОМАТИЗИРАНЕ НА УПРАВЛЕНИЕ НА ПРЕРАБОТКАТА НА РУДНИ СУРОВИНИ В ТРОШАЧЕН ЦЕХ В „ЕЛАЦИТЕ-МЕД” АД	107
Николай Благов	
НАДЕЖДНОСТ НА РУДНИЧНИ ПОДЕМНИ УРЕДБИ С ОТЧИТАНЕ НА ТЕХНИЧЕСКОТО ОБСЛУЖВАНЕ	112
Ромео Александров	
ЗА НЯКОИ ПРОБЛЕМИ И ЗАДАЧИ ПРИ ПРЕХОДА ЗА ОБСЛУЖВАНЕ НА ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕТО ПО ФАКТИЧЕСКО СЪСТОЯНИЕ	117
Красимир Иванов, Николай Минеков, Георги Велев, Калин Радлов	
ЗАКОН ЗА ОПТИМАЛНО ЧЕСТОТНО УПРАВЛЕНИЕ НА СИНХРОННИ ДВИГАТЕЛИ	122
Николай Минеков	

ПОСТИЖЕНИЯ, ПРОБЛЕМИ И ЗАДАЧИ НА СЪВРЕМЕННАТА НАУКА ЗА ОСИГУРЯВАНЕ НА БЕЗОПАСНО И УСТОЙЧИВО РАЗВИТИЕ НА СЪВРЕМЕНОТО ИНДУСТРИАЛНО ОБЩЕСТВО ПРЕЗ XXI ВЕК

проф. д-р инж. Евтим Кърцелин

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, kaly_73@abv.bg

РЕЗЮМЕ

За подобряване качеството на живот и условията на труд една от характеристиките на съвременното индустриално общество е свързана и съпроводена с непрекъснатия стремеж за усъвършенстване на използваните и внедряване на нови технически решения и нови технологии.

През XX век постиженията на науката и на промишлените технологии осигуриха възможности и условия за проектиране, производство, строителство и въвеждане в експлоатация на различни по сложност, различни по мощност и предназначение обекти.

Заедно с този положителен ефект статистиката показва, че този процес на непрекъсната модернизация на съвременното индустриално общество е съпроводен и с нарастване честота на възникване на катастрофални събития и непрекъснато нарастване на тежестта на последиците и загубите от тях.

В доклада е обобщена и представена информация за възникнали катастрофални събития в различни сфери на човешката дейност в съвременното индустриално общество. Възникването на катастрофални събития е показател за неизследвани и нерешени проблеми и задачи в различните области на човешкото познание.

Ключови думи: *съвременно индустриално общество, катастрофални събития, области на човешката дейност и познание, задачи за безопасно и устойчиво развитие през XXI век.*

1. Най-обща характеристика на съвременното индустриално общество в началото на XXI век.

Общоприето е човешките възможности и постижения в началото на XXI век да се представят и показват със следните обясненията:

- днес човек може да излети в Космоса, да лети месеци и години и пак да се завърне на Земята;
- днес човек може да излети до Луната, да стъпи на нея и пак да се завърне на Земята;
- когато човек включи GPS-системата на колата си, може да пропътува хиляди километри и да достигне до най-затънтеното място по света;
- днес, когато човек включи своя GSM-апарат, той може да разговаря и заедно с това да вижда своя партньор на дисплея на апарата, независимо, че той се намира на „другия“ край на света;
- човек днес може да пробие сондажи в недрата а Земята над 10 км дълбочина;
- днес човек добива диаманти и злато, като „слиза“ на дълбочина до 3000 м в недрата на земята;
- днес, в началото на XXI век, военните могат да изстрелят бомба, която с много голяма точност, може да порази обект (включително хора и язовирни стени), намиращи се на 5-10 хиляди км разстояние.

В този ред на мисли може да се продължи с представянето на още по-големите възможности на човека в началото на XXI век:



• днес човечеството има възможност, и то даже само няколко човека, само за 1 час да сринат човешката цивилизация на Земята. А тази цивилизация възниква и се развива вече милиони години.

А днешната цивилизация и човекът, възникнали преди милион години, преминали през хиляди катаклизми, достигнали до днешното красиво състояние на планетата Земя, могат да загинат само за 1 час.

Да! Днес човечеството има толкова запаси от оръжия и бомби, които „най-грижливо“ съхранява, строго охранява и поддържа в 24-часова бойна готовност, че само 5 минути след подадена команда, само за 1 час може да „изравни“ планетата Земя и да „реши“ веднъж завинаги всички проблеми на Земята.

2020 година. Година на световна пандемия, предизвикана от коронавируса COVID-19. Година на световен хаос.

Едва сега, днес, в края на 2022 година човек може да си представи, (ако изобщо може) своето безсилие и немощ пред природата, природните явления и процесите в природата.

Милиони научни работници, милиони лекари, хиляди научно-изследователски лаборатории и институти, с безпрецедентна финансова и материална подкрепа, са насочили усилия в търсене на вълшебното лекарство срещу тази непозната „чума“ в началото на XXI век. За една година търсене, нулев резултат. Този COVID-19 показва, че е „по-силен“, „по-умен“ от човека. И милост няма. Отговор и решение няма. И най-мощните държави нямат отговор.

Ето един от големите парадокси на природата и човека днес. За една година днешният човек, с целия си научен потенциал не може да открие природата на един вирус и да измисли най-силното оръжие (лекарство) срещу него. Но същият този човек, в началото на XXI век, има и разполага с реалната възможност, само за 1 час да унищожи материалния и духовния свят на планетата Земя.

Днес, негово величество човекът, има възможност да сине „до основи“ всичко създадено от него и от природата за милион години, а не може да се справи с един вирус, невидим с просто око.

2. Възникването на трудови злополуки – мярка и оценка за състоянието на съвременната наука и промишлени технологии

2.1. Информация за производствения травматизъм в Република България

В таблица 1 са представени статистически данни за период от 7 години (2014-2020) за производствения травматизъм в България

Таблица 1

№	Показател	Разпределение по години						
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1.	Общ брой трудови злополуки	2007	2880	2854	2917	2914	2731	2309
2.	Злополуки със смъртен изход	118	104	88	94	92	89	89
3.	Злополуки с инвалидност			10	6			16
4.	Брой загубени работни дни		155489					162480

Статистически данни за настъпили пътнотранспортни произшествия за период от пет години в Република България са представени в следната таблица 2:

Таблица 2

Година	Брой катастрофи	Брой на загиналите	Брой ранени
20017	6846	678	8630
2016	7404	708	9374
2015	7225	708	8971
2014	7015	680	8635
2013	7016	601	8770

3. Катастрофални събития в електроенергийните системи на промишлено развити страни

3.1. Електрическата енергия е качество на живот и национална сигурност в съвременните индустриални държави

Поради някои свои безспорни предимства електрическата енергия в края на XX век намира приложение във всички сфери на човешката дейност. От количеството на консумираната електроенергия и от качеството на електроснабдяване на промишлените, обществени и битови електропотребители се определя не само качеството на живот, темповете на развитие на икономиката, но и възможностите за осигуряване националната сигурност на всяка отделно взета страна. Ето защо всяко нарушаване и прекъсване работата на електроенергийната система (ЕЕС) на всяка страна се приема за катастрофално събитие.

Независимо от значителните постижения на теорията и промишлените технологии, енергетиката в началото на XXI век е изправена пред сериозни проблеми и задачи за решаване, като например:

- Енергетиката на XX век е изградена на основата на така наречените „невъзобновяеми въглеводородни източници на енергия” (въглища, нефт, газ), чиито запаси при днешните темпове на потребление ще се изчерпат в обозримо бъдеще.

- Енергетиката на XX век е изградена на основата на технологии и процеси, които оказват силно отрицателно въздействие на околната среда и на живата природа върху планетата Земя. По силата на международни договори това отрицателно влияние трябва да бъде силно ограничено и намалено в кратки срокове.

- Възникналите аварии в Чернобилската атомна електроцентрала (1986 г.) и в Японската атомна електроцентрала „Фукушима - 1” (2014 г.) оказаха силно влияние за намаляване и ограничаване темповете на развитие на атомната енергетика като сериозна алтернатива за XXI век.

Източниците на енергия, включени под общото наименование „възобновяеми източници на енергия” все още не са сериозна алтернатива на невъзобновяемите източници. Това е така, защото все още има редица и съществени въпроси и проблеми, които ограничават тяхното денонощно и целогодишно използване (като например, осигуряване на технически възможности и решения за акумулиране на електрическа енергия в промишлени количества и др.).

Тези и някои други въпроси и проблеми поставят от своя страна задачата за ускорено развитие на енергетиката на XXI век на основата на възобновяемите източници на енергия и постиженията на нано - и информационни технологии. При така очерталите се проблеми и задачи на енергетиката в края на XX век и определяне на стратегическите задачи за развитие на енергетиката през XXI век, в „сянка” и второстепенен остава проблемът за аварийността на енергийните системи на редица страни по света, включително и на индустриално развитите страни.

Актуалността на този проблем и задача за изследване и решаване се определя от следните два съществени и незаобиколими фактора:

- Възникването на аварии в електроенергийните системи на различни страни по света, включително и в индустриално развитите, не е изключение, а често случващо се събитие.
- Експлоатацията на всички енергийни системи по света при днешната им конструкция, обзавеждане и начин на експлоатация ще продължи в границите на следващите 25 - 50 години (между 50 и 70 години са необходими, за да се премине от електромеханични на микропроцесорни устройства за релейна защита в Европа).
- В много страни по света са въведени в експлоатация различни по предназначение технически системи, при които прекъсването на електроснабдяването неизбежно води до големи катастрофи и аварии.

3.2. Информация да възникнали аварии в електроенергийните системи на различни страни по света и последиците от тях

В Таблица 3 са приведени примери за едни от най-големите аварии и катастрофи в световната енергетика за периода 1965-2008 година и последиците от тях [2].

Таблица 3

№	Година	Държава	Причини за аварията	Последици от аварията
1	2	3	4	5
1	1965	САЩ и Канада	Изключване на електропровод при неселективно сработване на релейната защита	Прекъсване на електроснабдяването на много градове от двете страни, при което са пострадали над 30 млн души
2	1977	САЩ /Ню-Йорк/	Попадане на мълния върху електропровод	Прекъсване на електроснабдяването на 9 милиона потребители и нанесени щети за 900 млн. долара.
3	1970	СССР	Късо съединение в електропровод	Изключени са 900 MW товари
4	1987	Франция	Претоварване на електропровод и изключване на генериращи мощности	
5	1996	САЩ	Рязко нарастване на електропотреблението и развитие на каскадно изключване	Пострадали са 15 милиона човека
6	2000	Русия	Човешки фактор	Изключване на пет електроцентрали
7	2001	Индия	Авария на електроцентраля	Пострадали са 200 милиона човека
8	2001	Нигерия	Авария в електрическата мрежа	Пострадали са около 50 милиона човека
9	2002	Аржентина	Авария в електропровод	Пострадали са около 2 мил. човека
10	2003	Алжир	Авария на електроцентраля	Пострадали са 32 милиона човека
11	2003	Швеция, Дания	Прекъсване на електропровод по времето на щорм	Пострадали са около 5 мил. човека
12	2003	Англия	Неправилна работа на релейната защита	Изключени са 724 MW товари. Пострадали са 250 хил. човека
13	2003	САЩ и Канада	Авария в електрическите мрежи. Претоварване на електропроводи	Изключени са 61,8 MW товари, 263 електростанции. Пострадали са 50 млн. човека. Нанесени загуби за 6 милиарда долара
14	2003	Италия	Късо съединение в електропровод в Швейцария, изключен в Италия.	Пострадали са 57 мил. човека. Загуби - 300 мил. евро.
15	2004	Никарагуа	Авария в електрическата мрежа	Цялата страна остава без електрозахранване.
16	2004	Гърция	Авария на електроцентраля	Пострадали са 6 млн. човека
17	2004	Йордания	Авария в електроразпределителна на мрежа	Пострадали са 5,8 млн. човека
18	2005	Русия	Претоварване на електропровод и трансформатори	Изключена е югозападната част на Москва и съседните области

19	2006	Русия	Прекъсване в системата за електроснабдяване	Изключено е захранването на половината от гр. Санкт Петербург
20	2007	Русия	Валежите превишават над 2 пъти нормите	Изключени са райони в Московска Смоленска области
21	2008	САЩ	Интензивна мълниеносна дейност, изключени са 8 блока на АЕЦ	4 млн души остават без електрозахранване
22	1994	Република България	Кълбовидна мълния възпламенява закрыта РУ-20 kV на ЦРП „Бабино“ – 110/20/ 6 kV	Изключва захранването на обекти от нулева категория по непрекъснатост на електроснабдяване и свръх категория по опасност от експлозия на газ метан.

3.3. Причини за възникване и оценка на една от най-тежките системни аварии в електроенергийната система на САЩ

Системната авария на 14 август 2003 г. обхвана Североизточната част и Средния запад на САЩ и част от Канада се определя от специалистите и медиите като една от най-тежките за последните 40 години. Несъмнено тя е една от най-тежките системни аварии в историята на електроенергийните системи.

Независимо от ограничената информация могат да се посочат някои от по-важните, предопределящи фактори за настъпване на тази системна авария:

- Недостатъчна адекватност и сигурност (надеждност) на преносните електрически мрежи. В резултат на изоставане на развитието им, нарушаването координирането между планиране развитието на преносните мрежи и развитието на генериращите мощности, физическо остаряване на съоръженията и др.;
- Недостатъчни мерки за оперативна сигурност;
- Отрицателни последствия от извършеното в ускорен темп реструктуриране и дерегулиране на електроенергийния сектор на САЩ.

По-бързо отколкото могат да реагират диспечерите преносната мрежа в региона започва автоматично да се отделя от претоварената система. Генераторите се изключват един след друг като без електрозахранване остават Ню Йорк, Пенсилвания, Средния запад и по-голяма част от Онтарио. За няколко секунди Северна Америка е обхваната от най-тежката системна авария (блекаут) в историята. За около 9 сек. отпадат 61800 MW генераторни мощности (в т.ч. и 9 АЕЦ) и повече от 50 млн. жители остават без електроснабдяване.

Десетки години тази мрежа е работила добре. Преносните електрически мрежи на Канада и САЩ са свързани в 37 основни възли, така че двете страни могат да търгуват помежду си със значителни количества електроенергия. Ако в една от компаниите има дефицит, тя просто купува електроенергия от другите. Преносните мрежи, състоящи се от въздушни линии и подземни кабели обаче са значително остарели и останали на ниво от 50-те и 60-те години. На експертите е ясно, че остарелите електропроводни линии не са в състояние да се справят с бързия ръст на енергийната пазарна икономика.

Аварията поставя редица остри въпроси. Защо експертите по сигурността досега са обръщали толкова малко внимание върху уязвимостта, ниската сигурност на мрежата! Отговорът е, че подобно събитие е считано за невъзможно да се случи. Според отговорни фактори, било е прието, че взетите мерки за повишаване сигурността след голямата авария през 1965 г. са достатъчни и подобни аварийни събития са станали вече невъзможни.

Все пак най-важният въпрос остава: какво в действителност се е случило?

В петък сутринта кметът Блуумбърг е заявил, че по информация на енергийните компании аварията е започнала в Канада. От кабинета на премиера на Канада Жан Кретиен обаче съобщават, че аварията се е развила след попадение на мълния на важна преносна линия в района Ню Йорк. В събота официални представители от електроенергийния сектор пък твърдят, че аварията е започнала някъде в североизточната част на Охайо.

Голямата авария изненада политиците, но не и енергетиците

Официалните лица и коментаторите бяха шокирани да открият, че такава голяма авария е възможна. Всъщност, влошеното състояние на сложната и претоварена преносна електрическа мрежа на САЩ беше очевидно от преди десетилетие. Проблемите на надеждността на електроенергийните системи, които са резултат на различни, но свързани причини доведоха в последните години до повече системни аварии в Северна Америка от когато и да било преди. През лятото на 1996 г. се случиха серия от аварии в западните щати. Големи аварии имаше през лятото на 1999 г. в Чикаго и Ню Йорк. Известна е кризисната ситуация през 2000 и 2001 г. в Калифорния. Президентът Джордж Буш и премиерът на Канада Жан Кретиен са съобщили за създаване на проблемна работна група, която трябва да анализира какво точно се е случило и да даде препоръки за предотвратяване на подобни аварии в бъдеще.

Преносната мрежа е анализирана обстойно от проблемна работна група към вицепрезидента. Изследването „Национална преносна мрежа“, в което са дадени 51 препоръки е завършило през май.

2002 г. Департаментът по енергетика в САЩ е в процес на съставяне на “пътна карта“ и завършен доклад „Мрежа 2030 Национална визия за електроенергетиката през следващите 100 години“.

Тези различни изследвания и проблемни работни групи визират основно едни и същи проблеми и дават едни и същи препоръки. За да се гарантира надеждно снабдяване с електроенергия, е необходимо:

- въвеждане на регулаторни правила, които ясно да определят кой е отговорен за експлоатационното поддържане и подобряване (upgrading) на съответни части от мрежата;
- идентифициране и отстраняване на „тесните“ места в мрежите;
- изграждане на нови преносни съоръжения;
- оптимизиране на използването на съществуващите съоръжения;
- развитие на нови технологии за пренос и нови материали;
- стимулиране на потребителите за икономии на електроенергия;
- съгласие за въвеждане на правила за надеждност по законов път;
- възлагане на непосредствена отговорност за мрежата вместо това да се остави само на добра самоинициатива.

Всичко това е твърде просто и известно. Но към сегашния момент изграждането на преносната инфраструктура и инвестициите в човешкия капитал - от линейните монтьори до инженерите, моделиращи и анализиращи мрежата, са напълно неадекватни. Вината за това е на политиците, а не на техниците.

3.4. Причини и последици от възникналата авария в електроенергийната система (ЕЕС) на Република България

На 27 юни 2007г. в 16:49 ч., поради съвпадение на няколко аварийни изключения на електропроводи от преносната ел. мрежа на страната, в резултат на възникнали пожари под тях и къси съединения, ЕЕС на България се раздели на две части: източна - с излишък на мощност и западна - с недостиг на мощност.

По време на аварията от претоварване са изключили още: ЕП 110 kV - 11 бр., АТ 250 MVA, 400/110 kV - 1 бр., АТ 200 MVA, 220/110 kV - 3 бр.

От 16:49 до 24:00 часа са ограничени производствените мощности на електрическите централи в източната част на ЕЕС.

Получена е аварийна помощ от съседните ЕЕС.

По време на аварията за време до 20 минути е ограничено електрозахранването на потребители в гр. Варна и гр. Добрич с обща мощност около 81 MW.

В 16:55 ч. паралелната работа на ЕЕС е възстановена.

Незабавно, след събитието, е сформирана комисия за разследване на аварията със задача да се изяснят причините за нейното възникване и да се набележат мерки за недопускане на подобна авария.

Причини за възникване на аварията

Причината за възникване на аварията е съвпадението на няколко аварийни събития в резултат на изключително високите температури и предпоставки за горски пожари:

Пожари под

- ЕП 400 kV Червена могила – Ветрен;
- ЕП 400 kV Варна – Бургас;
- ЕП 220 kV Белмекен – Казичане 1 и 2;
- Възникване на к.с. на ЕП 220 kV Мизия - Плевен - Г. Оряховица.

3.5. Информация за най-тежката в Българската енергетика, възникнала на 10.X.1994 г. в държавната ТЕЦ „Марица –Изток -3“

Метален резервоар в ТЕЦ „Марица –Изток -3“ съдържа 2000 м³ вода с температура 90° С. На 10.X.1994 г. металният резервоар се пука на височина 4,47 м от дъното. Резервоарът е висок 10 м. В него се съхранява отработената от котлите вода. точно срещу резервоара са разположени цеховете з „Бобинажен“ и „Ремонт на кабелно и турбинно оборудване“

Горещият воден поток помита всичко по пътя си, включително и двата цеха с хората. Веднага загиват 6 души, а по-късно в резултат на получените изгаряния умират общо 21 души, а 4-ма са тежко ранени и оживяват, но като доживотни инвалиди.

Работниците не са застраховани. Според колективния им трудов договор от 1993 г. при злополука със смъртен изход обезщетението е 180 000 лв. В деня на аварията един долар се обменяше за 64,33 лв. Така човешкият живот в централата е оценен на 2837 щатски долара.

Следствието за аварията е прекратено от прокуратурата след 10 години, през 2004 г., без да бъде образувано наказателно дело. Разследващите така и не откриват виновни лица, които да пратят на съд. По-скоро всички се обединяват около идеята, че възникналото катастрофално събитие е нелепа случайност.

3.6. Анализ на грешките на оперативния персонал при нарушения в работата на АЕЦ „Козлодуй“ [3]

Във всички страни с развита атомна енергетика се провеждат изследвания за уточняване на вида и комплексите от психологични причини, водещи до грешки в системата „човек – АСУ“ за условията на АЕЦ.

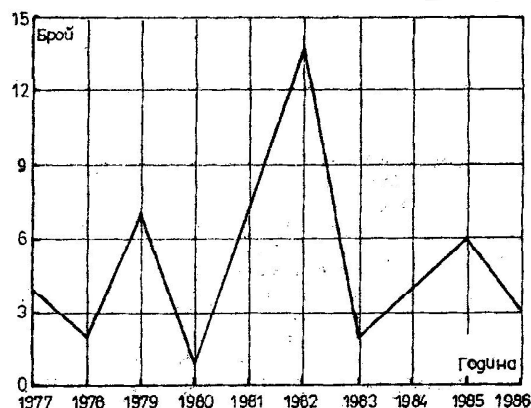
Анализирани са нарушенията по вина на оперативния персонал в АЕЦ-Козлодуй, за 10-годишен период от експлоатацията на централата -1977-1986 г. В проучването не са включени нарушенията от периода 1973- 1976 г., тъй като тогава е проведено последователно пускането на първите два блока на АЕЦ у нас и недостатъчният операторски опит би се отразил едностранчиво върху изводите.

Данните са взети от протоколите, съхранявани в секция „Контрол по техническата експлоатация“ на СО „Атомна енергетика“ - Козлодуй. В изложението се разглеждат общо всички нарушения, без да се уточнява техният вид, тежест и последствия, тъй като това излиза извън рамките на поставената цел.

Повечето резултати са представени в абсолютни стойности и се разглеждат в динамика. Показателите за относителен дял се сравняват статистически чрез алтернативен анализ.

В посочения десетгодишен период в АЕЦ-- Козлодуй, са възникнали 50 нарушения по вина на оперативния персонал или по обективни причини, но задълбочени от неговата

намеса. Фигура 1 отразява динамиката на нарушенията в годините на разглеждания период, която се дължи на сложен комплекс от причини. Една от най-важните от тях е текучеството на кадрите. Затова върхът на нарушенията, който се наблюдава през 1982 г. с основание може да се свърже с големия брой на напусналите през тази година опитни оператори: 28 души поради изтичане на десетгодишния им трудов договор с предприятието и 17 души преместени на IV блок за пусково настроените работи.



Фиг. 1

В табл.4 е дадено разпределението на нарушенията за десетте години по месеци.

Таблица 4

Месец	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Брой	5	4	1	5	5	8	6	3	4	4	3	2

В табл. 5 нарушенията са групирани по часове в денонощието в течение на трите работни смени. Нарушенията по време на дневните смени имат най-голям относителен дял - 42 %, а през следобедните и нощните смени са съответно 26 и 32%. В неврофизиологичен и психофизиологичен аспект най-натоварващи са нощните и в по-слаба степен следобедните смени, тъй като нарушават денонощния физиологичен (циркадеи) ритъм на организма.

Таблица 5

I смяна (нощна)		II смяна (дневна)		III смяна (следобедна)	
часове	брой	часове	брой	часове	брой
0-1	2	8-9	3	16-17	2
1-2	3	9-10	1	17-18	1
2-3	2	10-11	2	18-19	1
3-4	1	11-12	4	19-20	0
4-5	1	12-13	2	20-21	3
5-6	0	13-14	5	21-22	3
6-7	4	14-15	1	22-23	1
7-8	3	15-16	3	23-24	2
Всичко 16(32%)		21 (42%)		13 (26%)	

Систематизирането на нарушенията по степента на участие на субективния фактор е дадено в табл. 6. Нарушенията в резултат на операторски грешки имат най-голям относителен дял - 54%, а възникналите по обективни причини (отклонения в АСУ) и задълбочени от неправилна намеса на оперативния персонал са 34%. Най-малък е относителният дял на нарушенията от смесен тип - 12%, при които е трудно да се разграничи водещото значение на субективния или обективния фактор.

На основание на отразените в протоколите причини за нарушенията най-често допусканите операторски грешки могат да се групират по следния начин:

1. Неправилни действия във връзка с разпореждания (устни или писмени).
2. Неправилни самостоятелни действия
3. Недостатъчно сработване, несъгласуваност на екипа

Таблица 6

Година	Общ брой на аварията	По субективен фактор	По обективен фактор с намеса на субекта	От смесен тип
1977	4	3	0	1
1978	2	2	0	0
1979	7	4	1	2
1980	1	1	0	0
1981	7	3	3	1
1982	14	4	8	2
1983	2	2	0	0
1984	4	3	1	0
1985	6	3	3	0
1986	3	2	1	0
Всичко	50	27 (54%)	17 (34%)	6 (12%)

Всяка от изброените грешки може да се дължи на една или повече причини. Основните причини, с които могат да се обяснят допуснатите грешки са:

1. Ниска или недостатъчна професионална подготовка.
2. Липса на или недостатъчен операторски опит.
3. „Чисто“ психологични причини:
 - психофизиологични и психологични индивидуални несъответствия и дори противоположения по отношение на предявяваните от професията изисквания;
 - недобре формирана делова психологична и социално-психологична съвместимост, необходими за сработването и съгласуването при взаимнообвързаните професионални действия.
4. Нервно-психична и физическа умора и преумора на персонала.

От изложеното до тук се налагат и изводите как да се сведат до минимум операторските грешки:

- чрез повишаване на изискванията и подобряване равнището на професионалната подготовка;
- с разкриване на учебно-тренировъчен център;
- чрез предварителна оценка на професионалната пригодност за операторски длъжности по психофизиологични и психологични показатели;

- с въвеждане на текущ, динамичен контрол на нервнопсихичната работоспособност и професионалната надеждност на операторите с възможности за заместване на преуморените и ненадеждните от резервна смяна оперативен персонал.

4. Катастрофални събития в транспортните системи на съвременното индустриално общество

4.1. Пожарни инциденти в транспортни тунели – статистика, анализ, моделиране[4]

През последните 15 години в света са построени 39 тунела (автомобилни и железопътни) с дължина по-голяма от 13 километра, което превишава построените от този клас за предходните три десетилетия (70-90 години) на миналия век. Заедно с това нараства и общата дължина на пътните тунели. Увеличаването на индивидуалната дължина на тунелите влияе както на вероятността за възникване на аварии в тях, така и на тежестта на последиците при реализацията на тези опасности. Увеличава се и времето за пребиваване на пътниците в тунелите, т.е. нараства експозицията при поява на опасността.

Стремежът за създаване на по-ефективна автотранспорта система в условията на нарастване на моторните превозните средства и плътност на трафика е основният стимул за нарастване на броя и дължината на авто-тунелите. В таблица 7 са показани страните с най-много транспортни тунели с дължина над 1500 m.

В България общата дължина на транспортните тунели е около 8 km, като най-дългият тунел е Витиня с дължина 1155 т. Независимо, че в нашата страна транспортните тунели не са с голяма дължина и брой, включването на страната ни в транспортната система на Европа предполага спазване на изискванията за безопасност, както и на издадената Наредба за проектиране на пътни тунели.

Още повече, че има идеи и проекти за изграждане на нови подземни съоръжения в пътната инфраструктура на България.

Таблица 7

Тунели с дължина над 1500 m		
Страна	Брой	Дължина, km
Китай	500	1811
Италия	219	554
Япония	123	411
Швейцария	89	270
Австрия	56	190
Франция	39	123
Германия	37	83

Статистика на реализирани пожарни аварии в транспортни тунели

За последните 18 години само в Европа са регистрирани 10 големи пожара и много малки пожарни инциденти. Само за 2 години (2002-2003) при пожари в тунели са загинали 221 души, причинени са сериозни конструктивни повреди, донесли големи финансови загуби. В таблица 8 са показани пожарите в тунели с жертви за периода 1995-2009.

В Таблица 9 е показана сборна информация за 177 пожарни инцидента в тунели (автомобилни, ЖП тунели и метро) по държави. Голям брой пожарни инциденти са станали в метро и жп тунели. Тук те не се дискутират, защото възможните причини за пожар, както и системите за безопасност се различават значително, в сравнение с пътните тунели.

Таблица 8

Загинали при пожари в тунели (1995-2009)

ТУНЕЛ	ДЪРЖАВА	БРОЙ ЖЕРТВИ
	Босна	35
Mont Blanc	Франция	39
Tauern Tunnel	Австрия	12
Vierzy Tunnel	Франция	108
Pfander Tunnel	Австрия	3
Huguenot Tunnel	Южна Африка	3
Nihonzaka	Япония	7
St Gottard Tunnel	Швейцария	11
Hokuriku	Япония	34
Pecorin Tunnel	Италия	8
O'Shimizu Tunnel	Япония	16
Salang Tunnel	Афганистан	700
Kings Cross	Англия	31
Izola della Fammine	Италия	5
Velsen	Холандия	5
Kaprun	Австрия	155
Палермо	Италия	5
Глайналм	Австрия	5
Флойфджел	Норвегия	1
Фрежус	Франция-Италия	2
Бърнли	Австралия	3
Айкесунд	Норвегия	5
ОБЩО		1193

Таблица 9

№	Държава	Период от-до	Брой пожари/ дължина, km
1	Афганистан	1982	1/2.7
2	Австралия	2007	1/3.4
3	Австрия	1984-2002	15/78.5 3
4	Азербейджан	1995	1 / metro
5	Белгия	1987-2004	2 / metro
6	Канада	1971-2000	6 / Metro
7	Китай	1998	1/0.8 4
8	Дания	1994	1 / при строителство
9	Франция	1842-2004	21/26.5
10	Франция/Италия	1974-2004	7/82.51
11	Франция/ Великобритания	1996	1 / 51
12	Германия	1968-2001	15/3.2 2
13	Хонконг	2000	1/1.8
14	Италия	1983-2001	8/40

15	Япония	1967-1980	5/3.5
16	Мексико	1975-1985	2 / metro
17	Холандия	1978-2001	3 / metro, airport
18	Нова Зеландия	2002	1/1.2
19	Норвегия	1990-2003	11/42
20	Португалия	1976	1 / metro
21	Русия	1974-1991	4/metro
22	Словения	2003-2004	3/1.5
23	Южна Африка	1994	1 /3.9
24	Южна Корея	2003	1 /0.4
25	Испания	1944-2003	3 / 33.3
26	Швеция	1955-1960	2 / metro
27	Швейцария	1969-2001	13/112.6
28	Великобритания	1866-1994	15/ metro
29	САЩ	1949-2007	30 / 10.7 + metro
30	Югославия	1971	1/1.5

В табл. 10 са систематизирани причините за пожарите, систематизирани на фиг. 2. От данните в таблицата се вижда, че най-често срещаната причина за възникване на пожар е повреда на двигател на транспортно средство, като най-честа причина за такава повреда е дефект на електрическата система на автомобила. Като втора по значимост причина е катастрофа между два или повече автомобила.

Таблица 10

Причина за пожар в тунел	Относителен дял, %
Повреда в двигателя	36
Катастрофа	27
Опасни товари	8
Повреда на спирачна система	7
Петролни продукти	6
Аварии по време на	5
Повреда в електрическата	5
Запалване на гуми и гумени	3
Теч на хидравлична течност	2
Умишлен палеж	1

4.2. Експлозия на товарен влак на гара Хитрино

На 10 декември 2016 година в 5,37 часа товарен влак по направлението Бургас-Русе дерайлира при влизане на гара Хитрино.

Кратка техническа характеристика на влаковата композиция:

- Влаковата композиция е дълга 414 метра и включва 26 вагона и 2 локомотива;
- Общото тегло на влаковата композиция (без 2 локомотива) – 1756 тона;

- Общо количество на втечен под налягане – 830 тона, от които 700 тона пропилен и 130 тона е пропан бутан;
- Шести вагон – цистерна се разхерметизира в резултат на пробиване на ж.п. релса и за 39 секунди изтича всичкия пропилен от пробитата цистерна;
Последици от аварията:
- След 3-4 минути от възникналата авария последва експлозия и гара Хитрино се оказва в пламъци и разрушения в района на гарата;
- Загиват 7 души и разрушава половината от населеното място;
- 10 дни евакуация за цялото село;
- Огнеборци с риск вадят дерайлиралите вагони.

4.3. Възникване на пожар на 28.02.2008 г. в пътнически влак – София – Кардам край гара Червен бряг

През нощта на 28.02.2008 г. (23,20 ч.) избухва пожар в кушет-вагона от влака София – Кардам край. В резултат на възникналия пожар в кушет-вагона изгарят девет души пътници. Спящите пътници се оказват във капан, тъй като вратите на купето са заключени – залостени отвън.

Щифтът, с който вратите са били залостени отвън, е спечелил „конкурс“ за най-бързо и сигурно затваряне на вагона през 1990 г. Щифтът е създаден, за да се спират масовите кражби в железниците, обаче е трябвало да се използва само при спрял влак, а не в движение!

4.4. Катастрофално събитие на кабинков високопланински лифт в Италия на 24 май 2021

При падането на кабинка на закрит лифт край езерото Лаго Маджоре в италианския регион Пиемонт загиват девет души.

Злополучната кабинка е превозвала общо 11 души от курортния град Стреза до планинския връх Монпароне. Това пътуване е с продължителност до 20 минути. Последната станция на лифта е разположена на 1291 метра над морското равнище. Кабинката пада на 300 метра преди последната станция.

Лифтът е ремонтиран през 2016 г. Поради COVID-19 епидемията лифтът е бил спрял от експлоатация.

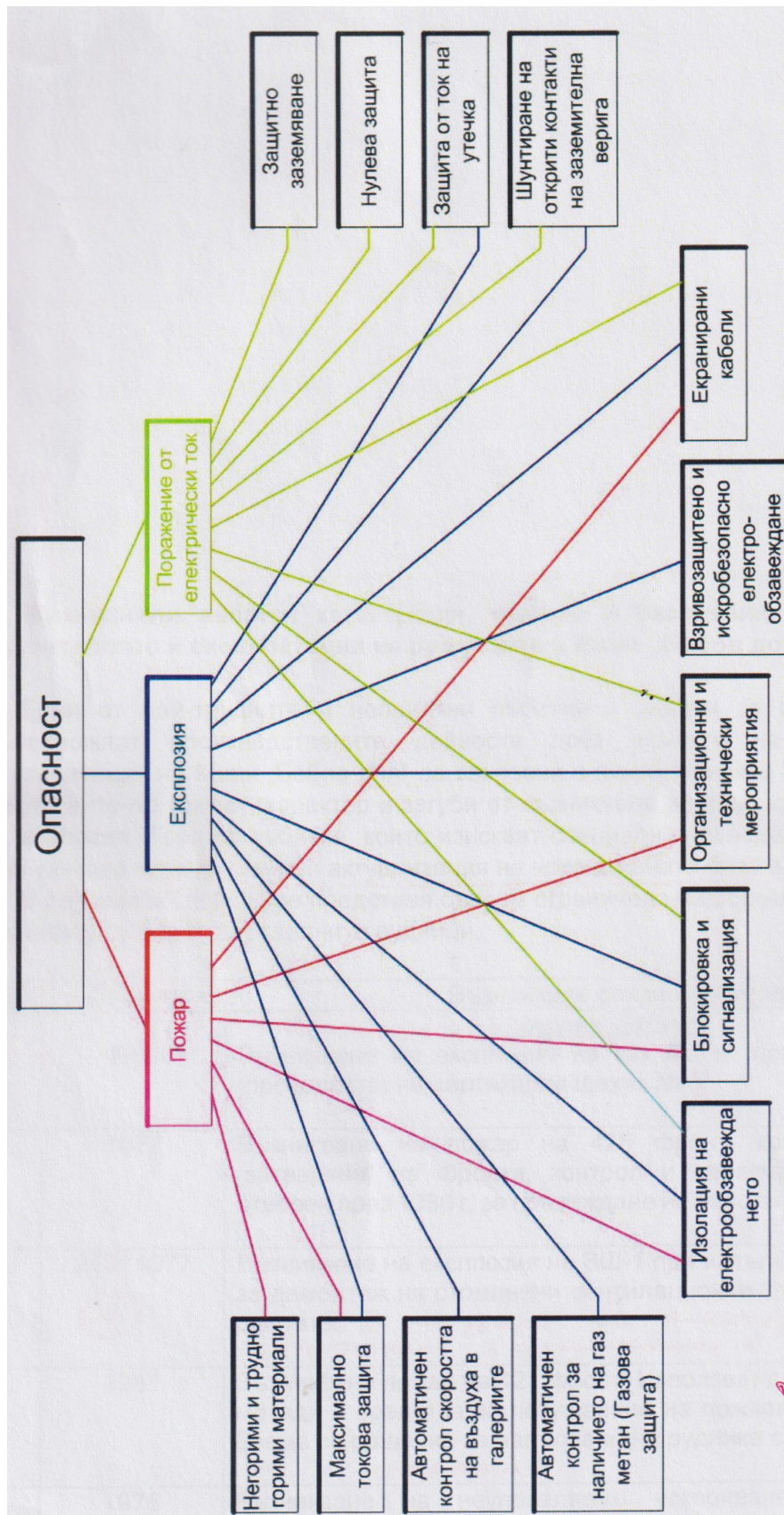
Само месец преди настъпване на катастрофалното събитие работата на лифта е възстановена.

По първоначални оценки причина за инцидента е скъсване на въжето, движещо кабинката.

5. Катастрофални събития в подземни рудници на Мини „Бобов дол“ [1]

5.1. Условия за безопасно използване на електрическата енергия в подземни въглищни рудници

Връзката между основните видове опасности, които е възможно да възникнат при експлоатация на електрообзавеждането и кабелната мрежа за напрежение до 1140 V в подземни въглищни рудници и мерките, които осигуряват безопасността, са представени на фиг.2.



Фиг.2 Схема на защитните средства и мерки за осигуряване на безопасно използване на електроенергията в подземни въглищни рудници опасни по газ метан и въглищен прах

5.2. Възникнали аварии, катастрофи, пожари и експлозии през етапите на строителство и експлоатация на рудниците в Мини „Бобов дол“

Едни от най-трудните и неприятни събития и задачи за изпълнение, които съпровождат производствените дейности през етапите на строителство и експлоатация на Мини „Бобов дол“ са свързани с ликвидирането на последиците на различните по тежест, характер и загуби от възникнали аварии, катастрофи, пожари и експлозии. Това са събития, които изискват специално изследване и изучаване, с цел тяхното ограничаване и актуализация на нормативната база в тази област.

В Таблица 11 се представя съвсем ограничена информация за възникнали аварийни събития по отделните рудници.

Таблица 11

№	Година	Възникнало опасно събитие
1.	1967	<u>рудник „Бабино“</u> Възникване на експлозия на газ метан при строителството (проходката) на вертикална шахта № 2
2.	1977	Възникване на пожар на 425 фронт, което довежда до „затваряне“ на фронта, контрол и наблюдение. Фронтът е отворен през 1980 г. за провеждане на възстановителни работи.
3.	24.05.1977	Възникване на експлозия на ВШ-1 при изпълнението на задачи за демонтаж на стоманени вентилационни тръби от ствола на шахтата. В резултат на експлозията са пострадали 3 монтажници.
4.	1981	Възникване пожар на 421 фронт. Използват се всички известни методи и средства за потушаване на пожара, но безуспешно. Взема се решение за напълване на рудника с вода в участъка на мулдата.
5.	1976	Възникване на неуправляемо ускоряване на ГТЛ-2 от магистрален лентов транспорт на хор. 292 (лентата работи в режим на спускане на въглища), в резултат на което в района на мулдата (най-ниската точка на р-к „Бабино“) ГТЛ е засипана (затрупана) с въглища и лентовият транспорт спира за срок от 2 месеца за отстраняване на последиците.
6.	1975	Падане на електровоз заедно с машиниста от $k \pm 0$ в ГКШ. Електровозът пада в зумпфа на шахтата, а машинистът се закача на разстрел на $k \pm 0$ в шахтата
7.	1976	Падане на стоманена тръба от бетонопровод в ГСШ, в резултат на което са скъсани кабелите за сигнализация на РПУ на ГСШ и възникнали повреди по армировката на шахтата.
8.		Възникване на дефекти в бетоновия крепеж на ГКШ, което изисква провеждането на специални операции за обезопасяване на шахтата, разработване и изпълнение на проект за ремонт на бетоновия крепеж на шахтата по цялата дълбочина.
9.	31.07.1994 3,00 часа	Падане на кълбовидна мълния в ЗУ-20 kV на ЦРП „Бабино“ 110/20/6 kV, в резултат на което се прекъсва електроснабдяването на подземен рудник „Бабино“ и се нарушава електроснабдяването на всички електропотребители в басейна. Разрушен е ЗРУ- 20 kV и е повреден силов трансформатор.
10.	1970-1974	При строителството е допуснато завъртане съединението на хор.292 на ГКШ. За осигуряване на безопасни условия на работа на механизирания обмен на вагони на хор. 292, е изпълнено „проширение“ на съединението.

	23.06.1997	<u>р-к „Бобов дол“</u> 1. Възникване на ендеогенни пожари при подземния добив на въглища 2. Възниква експлозия на газ метан, в резултат на което са пострадали 11 работника.
	14.05.1987	<u>р-к „Миньор“</u> 1. Възникване на ендеогенни пожари 2. На шахта „Скипова“ пада подемен съд (скип) пълен с въглища
		<u>р-к „Мламолово“</u> 1. Възникване на ендеогенни пожари 2. Внезапни изхвърляния на въглища и газ 3. Възникване на подземни водни пробиви.
	1.09.1997 г.	<u>р-к „Иван Русев“</u> На 501 галерия възниква експлозия на газ метан, при което загиват 10 миньора и има много ранени с различна степен на поражение.

6. Катастрофални събития в гражданската авиация

В [13] е представена информация за възникнали катастрофи в гражданската авиация. Анализирани са причините за възникване и на последиците (загубите) от тези жертви.

Статистическото изследване на 2147 аварии, станали за период от 55 години (1950-2004) доказва че:

- в 42% от случаите е виновен човешкият фактор, т.е. грешка на пилота;
- причините за 31% от катастрофите не са установени;
- за 12% от случаите причините са - механични дефекти;
- в 6 % от случаите причина са природните условия;
- в 4 % от случаите – тероризъм и въздушно пиратство;
- в 4 % от случаите – грешки на диспечерите или персонала, които подготвя самолетите за полет;
- в 1% от случаите причините са възникнали аварии и катастрофи са отнесени към „други причини“ – например птиците.

Ще си позволим да приведем няколко примера за възникнали катастрофи в гражданската авиация, а след това ще се отговори и на въпроса „Защо?“

6.1. Най-тежката катастрофа в гражданската авиация възниква на 28 март 1977 г. [12]

На 27 март 1977 г. терористи от т.нар. Движение за независимост и автономия на канарските острови в 12,30 часа взривяват бомба в залата за чакане на летището в Лас Палмас. Взривът не причинява разрушения и човешки жертви.

Администрацията опасявайки се от нови терористични атаки, временно затваря терминала. Диспечерите вече насочват всички самолети към летището Лос Родеос, разположено на 70 мили от Лас Палмас.

На това летище се сблъскват челно два самолета:

Боинг 747 на холандската авиокомпания KLM с командир на самолета Якоб Ван Зантен с 25 годишен стаж. На борда на самолета се намират 235 пасажери, които се обслужват от 11 стюардеси и стюарди.

Вторият Боинг 747 е собственост на авиокомпания „Пан Америкън“. На борда на самолета има 378 пасажери от Лос Анджелис и Ню Йорк и двама сътрудници на компанията.

В 17.06 холандският Боинг започва ускоряване за излитане, когато в последния момент в края на пистата вижда американския Боинг, но вече е късно.

В резултат на сблъсъка на двата самолета всички пътници от холандският Боинг изгарят живи (248 души), а от американския Боинг от 396 пътници само 70 са спасени.

Разследването на трагедията продължава 9 месеца. Цялата вина се насочва към опитния пилот Ван Занген. А другите причини:

- Радиосмущения в системата за диспечерски връзки;
- Лошият английски на диспечерите;
- Лошото време остава на заден план.

Но за загиналите 574 пътници, пилоти и стюардеси това вече няма значение.

6.2. Авиационна катастрофа на 22 март 1994 г. с аеробус А-310 [12]

На 22 март 1994 г. аеробус А-310 лети по линията Москва-Хонконг и над гр. Междуреченск става авиационна катастрофа, при която загиват всички пътници и екипажа на самолета. След катастрофата е намерена черната кутия на самолета, в която са записани параметрите на полета до и след аварията. Изследването на записите в черната кутия показва, че аварията е настъпила в момент, когато самолетът лети в автоматичен режим, под управлението на автопилот. Без видима причина неочаквано зпочват бързо да нарастват опасни отклонения на крена и тангажа на самолета от техните им стойности. Докато екипажът премине от автоматичен на ръчен режим на управление, отклоненията са такива, че извеждането на самолета в нормален режим вече е невъзможно. Аеробусът пада и се разбива. Загиват всички пътници и екипажа – 150 човека.

След няколко месеца друг аеробус А-310 лети в близост до гр. Букурещ на автопилот, в автоматичен режим. И при този полет внезапно започва да нараства отклонението на крена и тангажа на самолета от нормалните стойности. Все пак в този случай пилотите успяват бързо да изключат автопилота и при ръчен режим на управление да „нивелират“ самолета. След благополучно кацане на самолета и извършената проверка на автопилота и системата за управление се установява, че те са напълно изправни и работят устойчиво.

Съпоставяйки тези факти, може да се направи извода, че системата за автоматично управление на аеробус А-310 е проектирана така, че е възможно тя да загуби устойчивост при вариация на някои от нейните параметри или на комбинация от вариации, и тези вариации или техни комбинации да са станали причина за загубата на устойчивост в двата случая, една от които на 22 март 1994 г. над Междуреченск завършва със смъртта на пътниците и екипажа – 150 човека.

Както може да се предположи, изчисленията на автопилота и системата за управление са изпълнени на бързодействащи изчислителни машини. След преобразуване на математическия модел на системата към форма на Коши не е било възможно напълно да се разкрият опасните свойства на системата.

Отказът на системата за управление при полета в близост до Букурещ подробно не е изследвана. Същата авария над Междуреченск е подробно разследвана от международна комисия. Необходимостта от международна комисия за разследване възниква поради това, че аеробус А-310 е проектиран и произведен от френско-германска фирма, а екипажът, който е управлявал самолета е руски. По записите на черната кутия е установено, че в момента на аварията в кабината на пилота се намира и детето на командира на самолета, т.е.- руският екипаж е допуснал грубо нарушаване на длъжностната инструкция – именно това нарушение е било определено от френско-германска комисия като главна причина за аварията и катастрофата.

В същото време без съмнение е ясно, че първопричина за аварията е загубата на устойчивост на автопилота, от което следва, че този факт трябва внимателно да се проанализира. Защо и по каква причина внезапно се губи устойчивост?

Следва да се отбележи, че в комисията по разследване на аварията е представен доклад, в който се посочва, че причините за аварията е възможно да бъдат напълно определени, като са посочени в доклада, неточност в проектирането и изчисленията на системата за управление на аеробус А-310, поради което е необходимо детайлно да се изследва тази версия.

Докладната е получена в комисията за разследване на аварията, но от комисията не е последвала никаква реакция. Може да се правят различни предположения, защо международната комисия не е поискала по-подробно да се разследва аварията, но е без съмнение, че тази причина е една:

Ако причината се окаже грешка в проектирането, то отговорността за аварията и свързаните с тази отговорност многомилionни разходи - за обезщетения на семействата на загиналите (от порядъка на 150 млн. долара), ще са за сметка на френско-германската фирма, която е проектирала и произвела аеробуса. Главното внимание на разследващите е насочено към грубото нарушаване на инструкцията от руските пилоти, които са допуснали в пилотската дете. Комисията успява да прехвърли вината изцяло на руската страна, заедно с финансовите разходи за обезщетения.

От изложеното следва извода, че колко е сложно и трудно да се възстанови и определи истината в такава трудна дейност, каквато е разследването на аварии.

Остава без съмнение едно – тъй като традиционните методи за изчисляване на устойчивостта и нейното запазване при вариация на параметрите са основани на изследване на характеристичния полином на системата или на матрицата от неговите коефициенти при записването им във формата на Коши и не се прави разлика между преобразувания, еквивалентни в класическия смисъл и в разширен, то традиционните методи не могат винаги, за всички системи да дават правилен отговор. Следователно, ако в практиката за изчисляване на устойчивостта не се въведат допълнителни проверки, описани подробно в литературата, то аварии неизбежно ще възникват.

В [14] изключително подробно са описани и доказани причините, които са довели до развитие на тази авария и последвалата катастрофа с Аеробус А-310 на 22 март 1994г.

7. Катастрофални събития в жилищни и обществени сгради

7.1.Регистрирани аварии в асансьорни уредби в жилищни и обществени сгради в Република България за период от 8 години (2010 - 2017)

Таблица 12

3	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Брой аварии	3	-	-	1	4	4	1	4

7.2.На 14 юли 2017 г. възниква пожар в жилищен блок в гр. Лондон – Англия. В резултат на пожара са загинали 70 обитатели на блока.

Причина за пожара:

За топлоизолация на жилищния блок е използван горим материал

7.3.През 2021 г. възниква експлозия на 2750 тона амониева селитра, оставена за временно съхранение в складове на пристанището в гр. Бейрут-Ливан. В резултат на експлозията са загинали над 100 човека, има много ранени, а всички сгради в района на пристанището са разрушени.

7.4.Възниква експлозия на газов хъб в Австрия . В резултат на което 60 души са получили различни степени увреждания, а много от инсталациите са разрушени.

7.5.След ремонт пада мост на автомагистрала в гр. Генуа – Италия. В резултат на това има много загинали и нанесени големи материални загуби.

- 7.6. През м. април 2019 г. възниква голям пожар в катедралния храм „Парижката св. Богородица“. Възстановителните работи ще завършат през 2024 г.
- 7.7. През м. октомври 2022 г. бяха смъртоносно поразени от мълния 3 човека в центъра на гр. София.
- 7.8. В резултат на експлозия във военните заводи в гр. Казанлък загиват трима работника, а сградата на цеха е напълно разрушена.

8. Съвременното информационно общество: общество на тоталния риск или общество на управляемата безопасност [11]

Във връзка с нарастване на мащабите и сложността на задачите за осигуряване безопасността на компютърните системи, осигуряването на ефективно решение е невъзможно да бъде постигнато без целенасоченото управление на процесите за осигуряването на информационна безопасност, основано на системния методологичен подход.

Управлението на информационната безопасност (Information Security Management) се явява тази област, за която необходимостта от теоретичното осмисляне стана очевидна съвсем от скоро. Първите изследвания в тази област започват в края на 1980 г. а в края на 1990 г. бяха създадени и първите национални и международни стандартни (ISO/IEC 17799). Появата на стандарти обаче съвсем не означава, че в областта за управление на информационната безопасност са решени всички задачи. Напротив, задачите за управление на информационната безопасност се усложняват и нарастват с всеки изминат ден в резултат на все по-интензивното използване на информационните компютърни технологии, практически във всички сфери на човешката дейност.

Съвременното информационно общество се превръща в общество на тоталния риск, ако проблемите на безопасността не се разглеждат в качеството на фундаментални проблеми на разработването и внедряването на информационни технологии.

Република България, както и по-голямата част от страните в света, с високи темпове се движат към информационно общество, построено на информационните технологии. Важно е да се отбележи, че разработването и внедряването на информационни технологии се развива с много по-висока скорост в сравнение с развитието на методите за осигуряване на информационна безопасност и сериозното изоставане в осигуряването на гаранции за безопасност при използването на информационните технологии. При това става въпрос за осигуряването на гаранции за безопасност за всички: и за държавата, и за собствениците на предприятия, и за отделния човек като потребител на информационни продукти и услуги. Нивото на осигурените гаранции за безопасност (качество, надеждност, устойчивост, пълнота, конфиденциалност, достъпност, безаварийност) за субект в Република България е много по-ниско в сравнение с редица Европейски страни и САЩ.

Трябва да се отбележи обаче и факта, че гаранциите от всякакъв вид, включително и за информационната безопасност, струват пари. Тази оценка от своя страна поставя една актуална задача: създаването, внедряването и използването на информационните технологии трябва да се развива в посока на създаването на общество с гарантирана безопасност, в противен случай се върви към общество с тотален риск.

Един от най-сериозните проблеми и нерешени задачи на съвременните информационни технологии са свързани с контрола качеството на програмните продукти и на сложните компютърни системи, тъй като за потребителите те се явяват само едни „черни кутии“, на които показателите за качество и безопасност е невъзможно да бъдат определени и оценени само с един оглед на техните детайли и компоненти.

Още по-сложен и неопределен е и отговорът на въпроса: каква отговорност носят сертифициращите и лицензиращите органи. Кой от създателите на програмното осигуряване или на системните интегратори дава такива гаранции? Още по-неясно е положението с

гарантирането на предварително декларираните показатели за надеждност, безотказност и безаварийност.

Какво точно трябва да доказват доставчиците на информационни технологии и услуги? Единичните и комплексни изпитания, 72-часовите проби, които се провеждат преди въвеждането на този тип обекти в експлоатация, не дават каквито и да са по-големи гаранции - не е възможно да се моделират и реализират всички възможни условия при реален режим на експлоатация, невъзможно е да бъдат открити всички „скрити дефекти“.

Изкуствен интелект

Засега понятието интелект не подлежи на формализация, а се представя чрез списък от атрибути. За удобство ще се интерпретира само с една от съществените му характеристики: способността на интелекта да функционира, представя и обработва информация в неопределена среда. Моделирането на интелекта с различна степен на сложност се дефинира като изкуствен интелект.

Има ли мярка за съвършеното решение, за машина, уредба или система?

За отговор на този въпрос ще се използва една оценка на В.Ефремов в неговата публикация „К вопросу а жевучести систем“, в която той казва:

„Успехите на генното инженерство пораждат идеи, които едновременно са съзвучни с проблемите, които днес се решават в системотехниката и с проблемите с естествения подбор, формулирани от Дарвин. Да си представим, че се прави опит за създаване на универсално животно, което трябва да може да лети, да бяга по земята, да плува във водата, да копае дупки под земята и да се катери по дърветата. Такова универсално навярно би могло успешно да се адаптира и оцелее. При сложните условия в околната среда и природата на нашата планета и би изместило част от другите животни. Все пак съзателят и творецът на такова животно много скоро ще се убеди, че големите крила за леене ще му пречат да копае дупки под земята, перушината с която е покрито тялото и предпазва тялото при студени условия ще пречи за бързо плаване; ципите на краката, които осигуряват възможността да се плува ще лишат „новото животно“ от възможността да се катери по дърветата. Постепенно това животно ще започне да губи жизнено пространство спрямо другите, които са добре адаптирани към конкретните условия други животни. От тук следва за разнообразието на видовете, които оцеляват в резултат на естествения подбор.

Към този пример ще се приведе и още един: Едно от най-модерните направления за развитие на съвременната енергетика е свързано с разработването и внедряването на нови системи релейни защиты, които ще наречем „микропроцесорни устройства за релейна защита“. Освен основната функция, която се изпълнява от досега използваните електромеханични и електронни устройства на МПУРЗ започнаха да се възлагат все по-нови и по-голям брой функции, което им осигури „правото“ да се наричат и „интелигентни“ в научните среди. Статистиката обаче показва, че „интелигентните“ МУРЗ работят неудовлетворително.

ИЗВОДИ

1. До средата на XX век научни работници и проектантите при конструиране и проектиране на нови технически и технологични системи, различни по сложност, предназначение, опасност и размер на последиците и загубите при техния отказ, интуитивно приемаха „по-хуманната“ на пръв поглед концепция за „абсолютна безопасност и нулев риск“.

Опасността и вредните последици на концепцията за нулев риск се състоят в погрешното приемане, че практически е възможно да се изключи всяка опасност за населението и околната среда, ако не се пожелат интелектуални сили и материални средства

за създаването на инженерни системи за безопасност и сериозни организационни мерки, осигуряващи високо ниво на дисциплината.

Нулева вероятност за възникване на аварии е възможна само в системи, в които няма запасена енергия, химически и биологически компоненти.

- Концепцията за „абсолютна безопасност“ става днес неадекватна на вътрешните закони на природата, които имат вероятностен характер.
- Катастрофалното поведение се явява вътрешно свойство на сложните технически системи и само на основата на адекватни математически модели е възможно да се получат бифуркационните точки за скокообразни изменения в изхода (състоянието) на една система при плавно изменение на входните и параметри.
- Високите темпове на развитие на отделни клонове от науката и ускореното реализиране на редица научни постижения в различни области на човешката дейност за удовлетворяването на определени човешки потребности не е съпроводено с адекватно развитие на науката и разработването на методи за оценка на потенциалните опасности, размера и вида на вредните последици за хората и природата при възникването на откази и аварии в тях.
Този извод се отнася за всички техногенни системи без изключение.
- Високите темпове на развитие на Информационните технологии предопределя възникването на нов вид, „съвременни“ аварии и катастрофи, обусловени от изоставащото развитие на теоретичните основи на методите и технически средства за защита на информацията от една страна, а от друга, на „новите“ проблеми и задачи за електромагнитната съвместимост на електрическите апарати и електропотребители, различни по предназначение, конструкция, елементна база и мощност.
- Удовлетворяването на Европейските стандарти за електромагнитна съвместимост не осигурява и не гарантира надеждно и безопасно функциониране на електрообзавеждането при наличието на електромагнитни смущения.
- Почти всички действащи нормативно-технически документи все още имат преди всичко декларативен характер при определянето на изискванията за безопасност на техническите системи.
- Количествени показатели за безопасност на сложни технически системи се определят и регламентират чрез приемането на коефициенти на запас, чийто стойности най-често са приети интуитивно и с нищо необосновани и доказани стойности.
- Големите аварии и катастрофи, които възникват в ЕЕС на САЩ и други индустриално развити страни доведоха до категоричния извод на специалисти и експерти: Електроенергийната система не може да функционира нормално, ефективно и безопасно по законите на пазарната икономика. Тази оценка е в сила и за още няколко системи на съвременното индустриално общество.

Литература

1. Кърцелин Е.Р. Аварии, катастрофи, пожари и експлозии през етапите на строителство и експлоатация на рудник „Бабино“ ИК „Св. Ив.Рилски“, 2020.
2. Кърцелин Е и др. Експертно разследване на аварии в електроенергетиката. ТУ-Габрово, сб. Научни, № 56, 2018.
3. Йонкова А., Демирева Т. Анализ на грешките на оперативния персонал при нарушения в работата на АЕЦ „Козлодуй“, Енергетика, 1990, № 8-9.
4. Македонска Д., Власева Е. Пожарни инциденти в транспортни тунели – статистика, анализ, моделиране. Минно дело и геология, 2016, № 3-4
5. Игнатовски Д. Системна авария на 14 август 2003 г. в САЩ и Канада. Енергетика, 2003, № 6-7



6. Маршал В. Основные опасности химических производств: Пер. С англ.- Москва, Мир, 1989.
7. Хенли Э., Кумamoto Х. Надежность технических систем и оценка риска. Пер. С англ. М., Машиностроение, 1984.
8. Асмолов В.Г., Сидоренко В.А. Безопасность ядерной энергетики: настоящее и гарантии на будущее, 2004.
9. Баммьетев А.М. и др. Методы оценки и обеспечения безопасности ЯЭУ, М., Энергоатомиздат, 1988.
10. Королев Ю.В. и др. Математические основы теории риска. М., Физматлит, 2007.
11. Кечиев Л.С. и др. ЭМС и информационная безопасность в системах телекоммуникации. М., Изд.дом. Технологии, 2005.
12. Джоргов Кр. Смъртоносна авиация. С., Военно издателство, 2010.
13. Шумилов И.С. Авиационные происшествия. Причины возникновения и возможности предотвращения. М., Изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2006.
14. Петров Ю.П. Петров Л.Ю. Неожиданное в математике и его связь с авариями и катастрофами. СПб, БХВ-Петербург, 2005.

УПРАВЛЕНИЕ НА ЦИМЕНТОВИ МЕЛНИЦИ

Димитър Пенев

Технически университет-София, dim_penev@tu-sofia.bg

ABSTRACT

The cost of cement strongly depends on the energy consumption during the processes of dry grinding of raw materials and clinker in the cement industry. Rational filling of the mill aims reducing this consumption. Mills usually work to prevent overcrowding and the need for extended unloading times. Model Predictive Control as a modern method of managing cement mills is considered in the work. Results of control of mills with classic PI controllers compared to MPC are shown. Some industrial control systems based on MPC technology are reviewed.

Ключови думи: *циментова мелница, управление, стабилизация, моделно прогнозиращо управление*

ВЪВЕДЕНИЕ

Използването на модерни технологии за управление в традиционните индустриални процеси бележи устойчив растеж. Съвременните агрегати и комплекси се характеризират с голяма производителност и създаване на продукция с гарантирано качество при изискване за минимални разходи за суровини, енергия и рационална експлоатация на технологичното оборудване. Заедно с химията и металургията, циментовото производство е едно от най-енергоемките производства, като важна част от него е процеса смилане.

Производството на цимент е свързано със значителен разход на електроенергия – около 3% от световното производство на електроенергия се консумира в тази промишленост. Разходът на електроенергия е около 100кВт/ч на тон продукция, в т.ч. около 50 кВт/ч за смилане на суровината и клинкера.

Схемата на мелницата е показан на фиг.1. Свежият материал се подава на входа на мелницата. Материалът се смилва и от изхода на мелницата се подава на сепаратор, който го разделя на два потока. Готовият материал се транспортира до бункера за съхранение, остатъкът се връща на входа за досмилане. Сепараторът се върти с определена скорост, като изнасянето на смления материал става с въздушна струя.

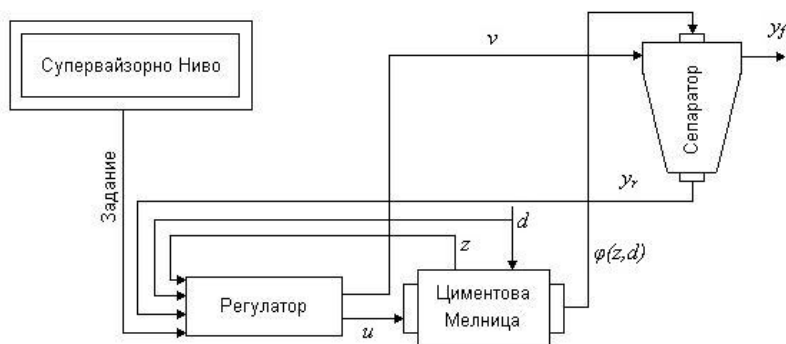
Необходимостта от ефективно управление на топковите мелници се диктува от:

- голяма инсталирана мощност - мелничните агрегати се задвижват от двигатели, чиято мощност е между 600 и 2500 kW;
- изискване на висока производителност - 60 до 120 тона/час;
- изискване за гарантиран зърнометричен състав на крайния продукт;
- конкуренцията (главно на китайски производители);

Проблемите при управлението на циментовите мелници са следствие от:

- необходимост от получаване на материал на изхода на сепаратора с гарантиран зърнометричен състав;
- минимален разход на енергия за единица продукция;
- нелинейност на динамичните характеристики, което създава проблеми при пускането и нормалната работа на агрегата;
- необходимостта да се осигури запас по натоварване с цел устойчива работа на мелницата, което води до намаляване на производителността, влошаване на КПД на задвижващия двигател, влошаване на енергийните показатели и оскъпяване на продукцията, също максимално запълване на мелницата, което не се допуска поради възможно запущване на мелницата;

- характеристиките на смилания материал, които се изменят по случаен закон и в широки граници;
- трудности при определяне натоварването на мелницата;
- необходимост от намаляване на разхода на смилащите тела.



Фиг.1

При управлението на циментовите мелници се предлагат различни подходи - управление с обратна връзка по състояние [1], робастно управление [2] или многомерно управление [3] или варианти на Моделно Прогнозиращо Управление (МПУ) [4], [5]. Полезни резултати за управление агрегати при обработка на минерали, в т.ч. и циментови мелници се откриват в [16].

В настоящата работа се представят базовите понятия на МПУ като ефективен, съвременен и прилаган в циментовото производство метод за управление и приложението на МПУ при циментови мелници.

МОДЕЛНО ПРОГНОЗИРАЩО УПРАВЛЕНИЕ

В настоящия момент МПУ е универсален метод за управление, което заедно с H_{∞} и μ -синтез могат да бъдат отнесени към класа на прогресивно управление на процеси (Advanced Process Control).

МПУ е семейство от алгоритми за управление, което се основава на следните базови концепции :

- изработване и верификация на математичен модел на процеса;
- формулиране на критерий за оптималност и ограничения;
- използване на получения математичен модел на динамиката на процеса за прогнозиране на изходите на обекта във времеви хоризонт е непрекъснато [11] или дискретно време [12];
- пресмятане на последователността на управленията състояния на системата така, че да се минимизира целевата функция при отчитане на наложените ограничения върху управлението и състоянията на системата;
- повтаряне на процедурата за оптимизация за всеки следващ такт на управление и прилагане на първата стойност от вектора на управлението към входа на системата

Като основни източници развиващи базовите постановки на МПУ се приемат монографиите [7], [8], [24] и др. Историята и съвременното състояние на проблема може да се намери в [17], [22] и [23]. Моделите прогнозируют с някаква грешка, а обратната връзка да компенсира някои ефекти от неточните модели, но тя не е в състояние да се справи с неточностите на един лош модел.

Гореизложените концепции трябва да се приложат по начин, който гарантира:

- достижимост на проблема за оптимизация в отворен контур;
- устойчивост в затворен контур, т.е. при наличие на обратна връзка;
- робастно качество и робастна устойчивост по отношение на неопределеностите.

Първото се отнася до формулирането на оптимизационния проблем, второто контролерът като цяло по отношение на смущения, а последното главно точността на модела на процеса.

Една от първите работи от МПУ е докладваната през 1976 година на 4-ти симпозиум на IFAC по идентификация и оценка на параметри в Тбилиси, СССР [7].

Съставянето на прогнозиращ модел е важен момент при прилагането на МПУ. Времето за получаването му е 80-90 процента от времето за внедряване. Използват се различни математични модели[14]:

- модели вход-изход;
- инкрементални вход-изход модели;

В настоящата работа за прогнозиране на бъдещото поведение на агрегата спрямо текущия момент се прилага линейна система диферентни уравнения от n ред в пространство на състоянията спрямо текущия момент k :

$$\begin{aligned} x(k+j+1) &= Ax(k+j) + Bu(k+j), j=1, np \\ y(k+j+1) &= Cx(k+j) \end{aligned} \quad (1)$$

Общата постановка за управление с прогнозиране се формулира като задача за намиране на екстремум по квадратичен критерий с ограничения в следния вид:

$$\begin{aligned} J(x, u) &= \min_u (x' P_1 x + \Delta x' P_2 \Delta x + u' P_3 u + \Delta u' P_4 \Delta u + x(np-1) P_5 x(np-1)) \\ x(j+1) &= Ax(j) + Bu(j) \\ g(x, u) &\leq 0 \\ \underline{x}(j+1) &\leq x(j+1) \leq \bar{x}(j+1) \\ \underline{\Delta x}(j+1) &\leq \Delta x(j+1) \leq \bar{\Delta x}(j+1) \\ \underline{u}(j) &\leq u(j) \leq \bar{u}(j) \\ \underline{\Delta u}(j) &\leq \Delta u(j) \leq \bar{\Delta u}(j) \\ j &\in [0, np-1] \end{aligned} \quad (2)$$

където:

- np - хоризонт на прогнозиране;
- nu - хоризонт на управление;
- x - вектор на състояние с размерност $n \times np$;
- $x(0)$ - начално състояние на системата;
- u - вектор на управление с размерност $n \times nu$;
- $\underline{x}, \bar{x}$ - долна и горна граница на вектор на състояние;
- $\underline{u}, \bar{u}$ - долна и горна граница на вектор на управление.
- $P_i, i \in [1, 5]$ - тегловни матрици;

Ако състоянията и управленията са положителни, критерият за оптималност ще бъде линеен:

$$J(x, u) = \min_u (x' P x) \quad (3)$$

и това е задача за линейно програмиране.

При отработване на траектория и решаване на задачата с линейно програмиране се появява интересна възможност за формулиране на задачата като минимаксна. Това позволява при наличие на смущения и/или промяна на параметрите на обекта да се търси минимум на максималното отклонение в интервала на прогнозиране и тогава критерият ще се представи така:

$$J(x, u) = \min_u (\max (x' S + u' T)) \quad (4)$$

ПРИМЕРИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ОБЕКТ С МПУ

На фиг. 2 е показана дискретизираната преходната функция на колебателен обект от втори ред с чисто закъснение и предавателна функция:

$$W(s) = \frac{1}{8s^2 + s + 1} e^{-5s} \quad (5)$$

С преходна функция показана на фиг. 3, такт на дискретизация 1s и филтър на задание

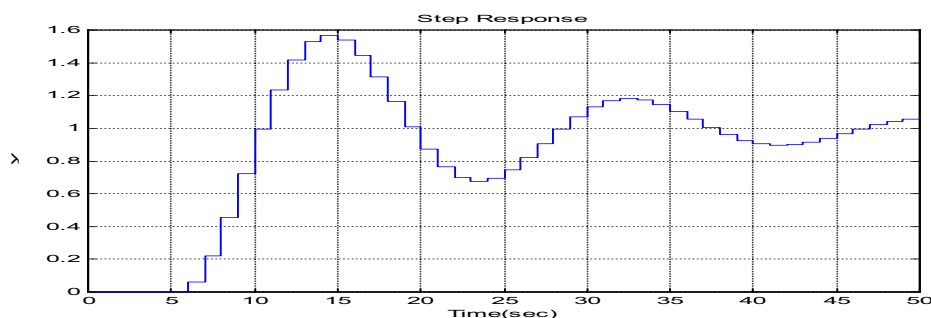
$$W_r(s) = \frac{1}{25s^2 + 11s + 1} \quad (6)$$

Задава се ограничение по управление $u \leq 2.5$. Резултатът е представен на фиг.3.

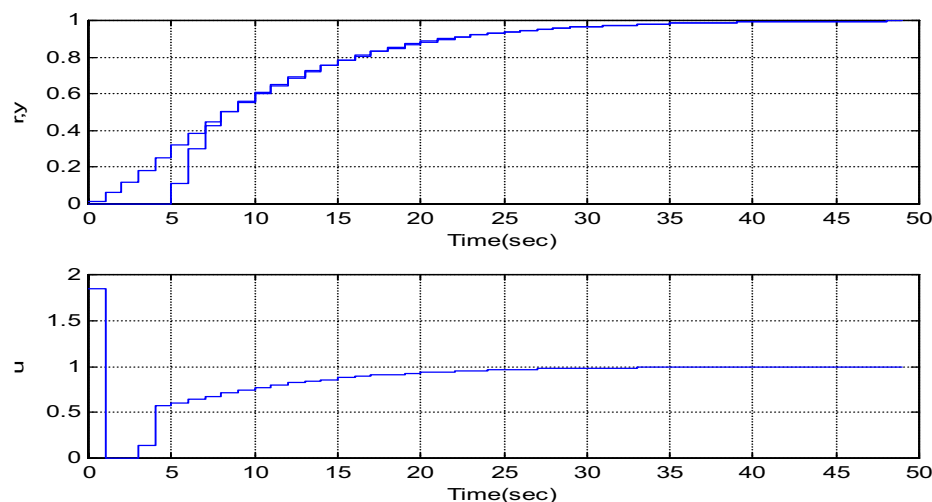
Ако филтърът е с предавателна функция:

$$W_r(s) = \frac{1}{1s^2 + 10s + 1} \quad (7)$$

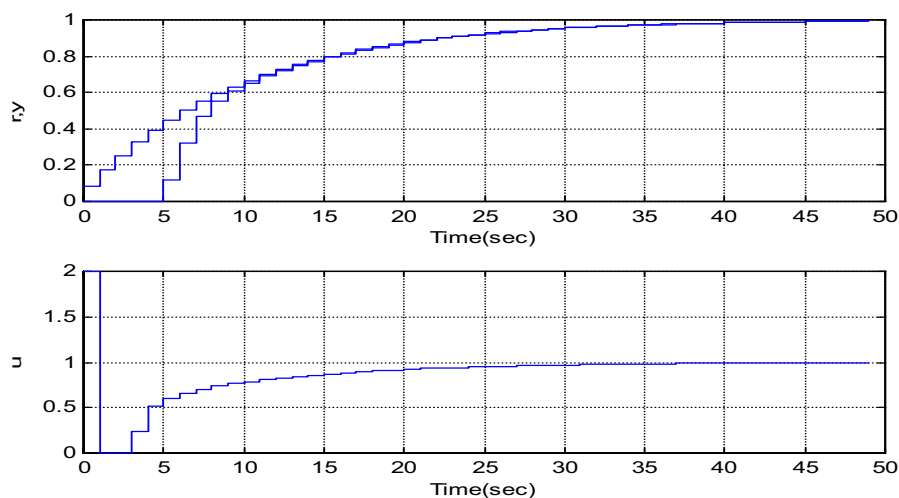
то се нарушава ограничението, което води до по-бърз преходен процес без пререгулиране (фиг.4). По този начин чрез промяна на настройките на филтъра и ограниченията наложени на управлението може да се въздейства върху продължителността и характера на преходния процес.



Фиг.2



Фиг.3



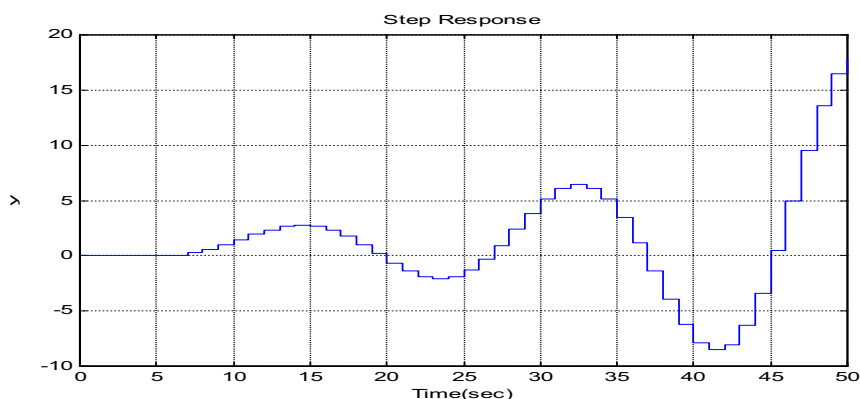
Фиг.4

Ако обектът е неустойчив с предавателна функция

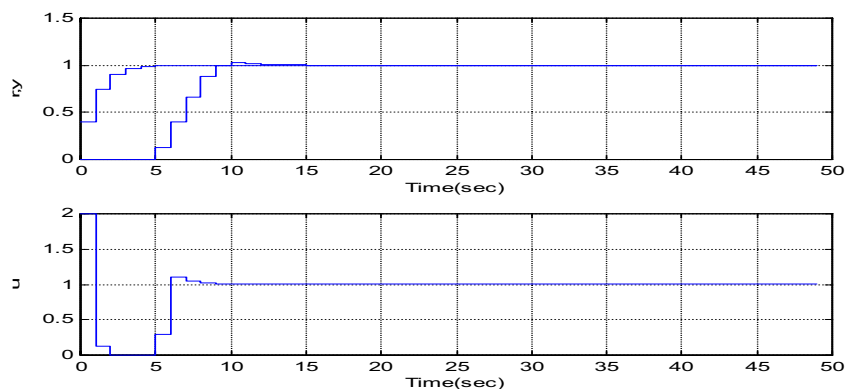
$$W(s) = \frac{1}{8s^2 - s + 1} e^{-5s}, \quad (8)$$

и преходна функция показана на фиг.5, то заданието, изхода и управлението са показани на фиг.6.

Следва да се направи извод, че МПУ позволява ефективно да се управляват обекти, които с класическите средства за управление в повечето случаи се управляват трудно –колебателно звено с чисто закъснение, или въобще не могат да бъдат управлявани, какъвто е случаят с неустойчивото колебателно звено с чисто закъснение



Фиг.5



Фиг.6

РЕЗУЛТАТИ ОТ УПРАВЛЕНИЕ НА ЕДНОСТАДИЙНА ЦИМЕНТОВА МЕЛНИЦА ЗА СУХО СМИЛАНЕ НА СУРОВ МАТЕРИАЛ

Математичен модел

Математичният модел се съставя на базата на баланса на материала в мелничния комплекс (фиг.1). Обектът се описва с нелинейна система диференциални уравнения [1]:

$$T_f \dot{y}_f = -y_f + (1 - \alpha(v))\varphi(z, d) \quad (9)$$

$$T_r \dot{y}_r = -y_r + \alpha(v)\varphi(z, d) \quad (10)$$

$$\dot{z} = -\varphi(z, d) + y_r + u \quad (11)$$

В модела са приети следните означения и определения:

y_f -количество готов материал на изхода на сепаратора;

y_r -количество на едър материал за досмилане (рецикъл);

v -количество материал в мелницата;

$\varphi(z, d)$ -функция на смилането;

α -константа на сепаратора;

d -твърдост на материала.

Функцията на смилането се задава по различни начини. Така например в [2] тя се задава във вида

$$\varphi(z, d) = \max\{0; (-dK_{\varphi 1}z^2 + K_{\varphi 2}z)\} \quad (12)$$

Други автори [3] предлагат за функцията на смилане израза

$$\varphi(z, d) = K_{\varphi 3}\Phi(z) \quad (13)$$

където $\Phi(z)$ е монотонно намаляваща функция. В частност за нея може да се използва зависимостта

$$\Phi(z) = \exp(-K_{\varphi 4}dz). \quad (14)$$

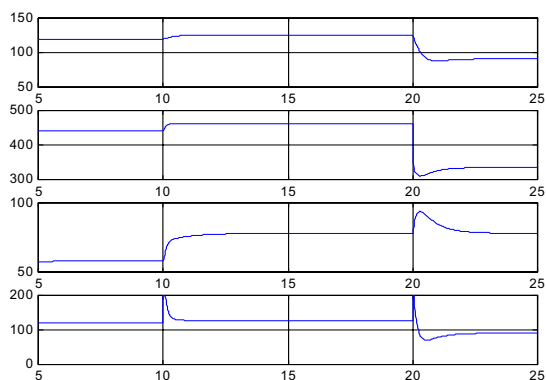
С параметъра α се характеризира разделянето на материала в сепаратора $0 < \alpha < 1$. Той зависи от натоварването на мелницата, скоростта на сепаратора и твърдостта на смления материал. Представа се с монотонна функция от следния вид

$$\alpha(z, v, d) = \frac{\varphi(z, d)^m v^n}{K_{\alpha} + \varphi(z, d)^m v^n} \quad (15)$$

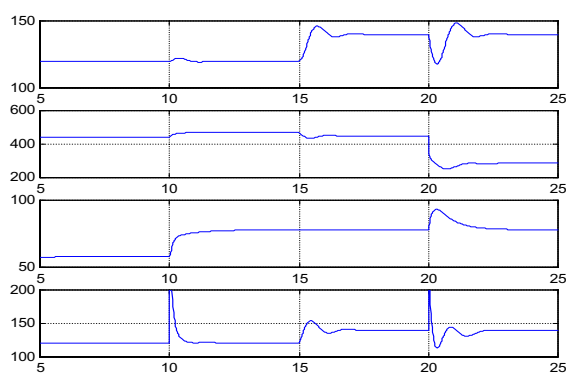
Резултати от моделиране на процесите в цементова мелница

Сравнява се работата на системата за управление при работа с един или два ПИ регулатора, моделно прогнозиращо управление без стабилизиращ контур по натоварване и с такъв. В следващите фигури (фиг.3, фиг.4) последователно са изобразени продукт на изхода на сепаратора, рецикъл, натоварване, суровина на входа (управление). В десетия час натоварването се променя от 58 на 78 тона, в двадесетия час изхода от 120 на 140т/час, а в тридесетия твърдостта се променя от 1 на 1,33.

Едноконтурна система за управление с ПИ регулатор по натоварване на мелницата (фиг.7). Графиките последователно са материал на изход, рецикъл, натоварване, материал на входа



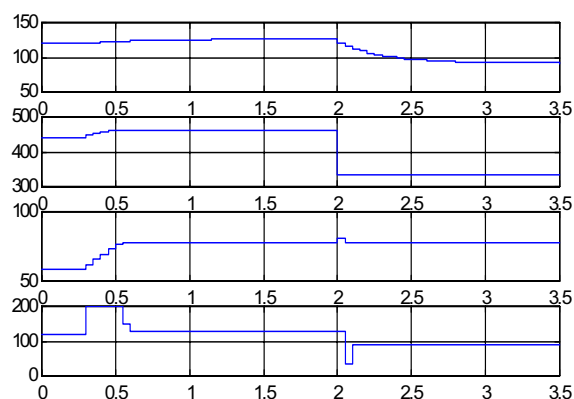
фиг.7



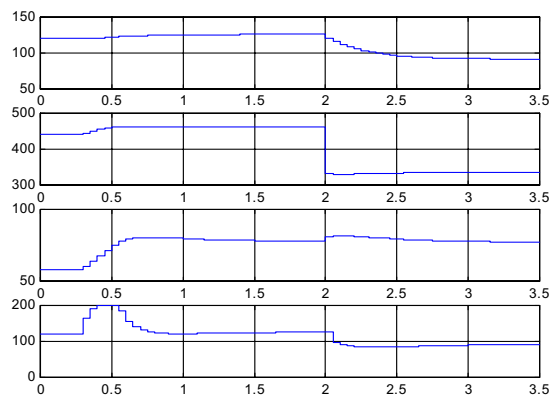
фиг.8

Двуконтурна система за управление с два ПИ регулатора - по натоварване на мелницата и скорост на сепаратора (фиг.8)

Прогнозиращ регулатор без стабилизиращ контур по натоварване (фиг.9). Тук в третия час имаме повишаване на заданието по вход до 200т/час, в двадесетия час се намалява до 80т/час

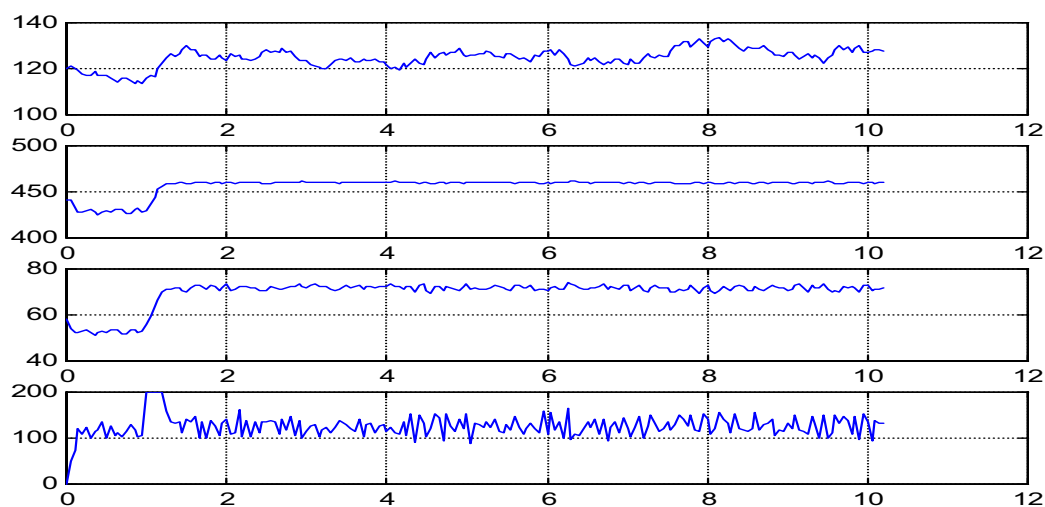


фиг.9



фиг.10

Прогнозиращ регулатор със стабилизиращ контур по натоварване (фиг.10)



фиг.11

Прогнозиращ регулатор при изменение на твърдостта по случаен закон (фиг. 11)

КОМЕНТАР НА РЕЗУЛТАТИТЕ

В работата е направено сравнение на управление на мелница с използване на система с ПИ регулатори и моделно прогнозиращо управление. С използването на два контура за управление не се подобрява работата на системата - появява се допълнителна колебателност, а изменението на скоростта на сепаратора влошава качеството на готовия продукт. При отработване на промяна в заданието по натоварване времето за достигане на установен режим при прогнозиращия регулатор е почти два пъти по малко в сравнение с два ПИ регулатора, като включването на стабилизиращ контур довежда до "по-меко" управление. Представените на фиг.11 процеси в мелницата при изменение на твърдостта по случаен закон с равномерно разпределение с $\pm 15\%$ показват, че се запазва устойчивостта. Влиянието на тези изменения е несъществено върху количеството материал в рецикла поради изглаждащото действие на мелницата. Изменението на натоварването на мелницата е незначително и не представлява опасност за пушване на мелницата.

Формулиране на задача за оптимално управление по минимум разход на енергия за единица продукция

Задава се следният критерий

$$\min \left(\frac{P}{y_f} \right) \quad (16)$$

Като се вземе предвид, че

$$\frac{dE}{dt} = P \quad \text{и} \quad (17)$$

$$\frac{dE}{dt} = F(u, y_f, y_r, z, l, v) \quad (18)$$

където:

E - електроенергията, захранваща главния двигател на мелницата

P - мощност на главния двигател на мелницата

l - тегло на мелницата и топковия пълнеж

С това уравнение се разширява системата уравнения (9), (10) и 11

Тогава задачата за минимизиране на енергийните разходи може да се представи така:

$$\min_u (F(u, y_f, y_r, z, l, v) y_f) \quad (19)$$

В известните ни литературни източници не се открива постановка на задачата в подобен вид. Има данни за оптимизиране на разхода на енергия, базирани на усреднени данни за определен времеви интервал [10].

ТЪРГОВСКИ СОФТУЕР ЗА МПУ

ABB

МПУ е основна съставна част на интегрираната система за Съвременно управление (СУ) (Advanced Process Control (APC)) на цементово производство на Asea Brown Boveri известна под търговското наименование ABB Expert Optimizer.

Това е хибридна интелигентна система за супервайзорно управление на отделните агрегати – смесване на компонентите за производство, мелница за суровини, пещ за изпичане. Отделните агрегати работят в супервайзорен режим, заданията за които се получават след решаване на задачата МПУ или от изхода на експертната система.

В разглежданата реализация се предлагат три режима на управление:

1. Управление от експертната система на базата на правилата заложиени в нея;
2. Управление, което се реализира от алгоритъма за МПУ и зададен критерий за оптималност.
3. Управлението се формира от МПУ алгоритъма и зададения критерий за оптималност при ограничения наложени на структурата на модела съобразно [15], измерените променливи на състоянията и управление получено от МПУ.

Emerson

Това са ситемите DeltaV Predict и DeltaV PredictPro. DeltaV Predict като съставна част от системата за автоматизация DeltaV реализира МПУ за процеси с малък и среден брой променливи. Тъй като е известно, че основното време за внедряване на МПУ е изграждане и верифициране на моделите, то съществено предимство на продукта е наличието на инструменти за автоматизиране процеса на създаване на модели. Максимален брой входни процеси, които се поддържат са:

- DeltaV Predict- от които осем входа, четири управления, четири смущения;
- DeltaV PredictPro -40 входа и максимум двадесет управления.

ANDRITZ

Предлагат се няколко продукта за управление на технологични обекти, в т.ч. и циментови мелници. Системата позволява симулация, изграждане и верификация на модели, обучение на оператори и съвременно управление на процеси. BrainWave е многовходово МПУ базирано на полиноми на Лагер. Използва се рекурсивен модел за оценка параметрите на модела. BrainWave SAG Mill е МПУ базиран пакет за управление при който се отчитат свойствата на материалите в мелницата, теглото на топковия пълнеж за да се достигне такова запълване на мелницата, че да се гарантира максимална производителност. Системата реализира настройки на захранващото устройство за подаване на оптимално количество руда и коригира настройките при промяна на твърдостта на рудата. Твърди се, че стратегията води до подобряване на производителността с няколко процента.

Honeywell

В продуктовата листа на фирмата има множество средства за управление под търговското название Profit® . За нас представлява интерес две от тях - Profit Loop и Profit® Controller. В Profit Loop е реализирано опростено МПУ управление за система един вход и един изход, базирано на предиктор на Смит, двупозиционен регулатор и оптимизатор. Предназначена е за системи със закъснение. Profit® Controller се базира на Хунюел Робастна Технология за Многомерно Прогнозиращо Управление (Honeywell's Robust Multivariable Predictive Control Technology (RMPCT) и съдържа инструменти за проектиране, внедряване и поддържане на многомерни системи управление и оптимизация, подложени на смущения.

ЛИТЕРАТУРА

1. F.Jadot, G.Bastin, V. Wertz, L.Magni, "Preventing cement mills by robust state feedback", in Proc. Contr. 97, Sydney,Australia, Oct. 97, pp 248-251
2. F. Grogard, F. Jadot, L. Magni, G. Bastin, R. Sepulchre, and V.Wertz, Robust Stabilization of a Nonlinear Cement Mill Model, IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATIC CONTROL, VOL. 46, NO. 4, APRIL 2001, pp. 618-623
3. Mehmet Önder Efe and Okyay Kaynak2, MULTIVARIABLE NONLINEAR MODEL REFERENCE CONTROL OF CEMENT MILLS, 15 Triennial World Congress, Barcelona, Spain
4. L. Magni, G. De Nicolao, R. Scattolini, Output feedback and tracking of nonlinear systems with model predictive control, Automatica 37 (2001), pp.1601-1607

5. Lalo Magni, Georges Bastin, and Vincent Wertz, Multivariable Nonlinear Predictive Control of Cement Mills, IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY, VOL. 7, NO. 4, JULY 1999, pp.502-508
6. Mehmet Onder Efe, Multivariable nonlinear model reference control of cement mills, Transactions of the Institute of Measurement and Control 25,5 (2003) pp. 373–385
7. Richalet J, Rault A, Testud JL, Papon J (1978) Model Predictive Heuristic Control:
 1. Applications to industrial processes. Automatica, Vol. 14, N°5:413–428
 8. Jacques Richalet, Donal O'Donovan, Predictive Functional Control, 2009
9. Boulvin M.,Renotle C.,Wouwer A.W., Remy M.,Tarasiewicz S., MODELING, SIMULATION AND EVALUATION OF CONTROL LOOPS FOR A CEMENT GRINDING PROCESS, European Journal of Control (1999), 10-18
10. Atmaka A.,Konoglu M.,Reducing energy consumption of a raw mill in cement industry, Energy,42 (2012), 261-269
11. Liuping Wang, Model Predictive Control System Design and Implementation Using Matlab Matlab
12. Camacho E.F.,Bordons A.B.,Model Predictive Control,1995, Springer
13. Lecture_notes_Report//present_cement_mill_08.pdf
14. Ton J.J., van den Boom, Model Predictive Control, TU Delft,2013
15. Bemporad A, M. Morari: "Control of systems integrating logic, dynamics, and constraints"; Automatica; Special issue on hybrid systems, Vol. 35, n.3, p.407-427, 1999
16. Sbarbaro D., Villar R., Advanced Control and Supervision of of Mineral Processing Plants,Springer,2010
17. Qin S.J.,Bagdwell T.A.,A survey of industrial model predictive control technology,Control Engineering Practice, Volume 11, Issue 7,July 2013, Pages 733-764
18. Dewei Li, Shu Lin,Model Predictive Control-Status and Challenges, Acta Automatica Sinica, Vol. 39, No. 3 March, 2013
19. Holkar K.S.,Hagmare L.M.,An Overview of Model Predictive Control, International Journal of Control and Automation, Vol. 3 No. 4, Decembe 2010
20. Schenzer Max,Ay M., Bergs T.,Abel Dirk, Review on model predictive control: an engineering perspective, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2021) 117:1327-1349
21. Morant F., Albertos P.,Model Reference Control of a Cement Mill, Digital Computer Application to Process Control, Vienna
22. Model Predictive Control-Status and Challenges, Xi Yu-Geng, Li De-Wei, LIN Shu, Acta Automatic Sinica, Vol.39, No3 March, 2013
23. Max Schwenzer, Muzafer Ay, Thomas Bergs, Dirk Abel, Review on model predictive control:an engineeringb perspektive,The International Journal of Advanced Manufacturing Technology(2021) 117-:1327-1349
24. Martin Klauko, Michal Kvasnica,.MPC-Based Reference Governors,Springer,2019.

CORRELATION METHOD FOR INVESTIGATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF ORE MILLS

Traycho Penzov¹, Plamen Petrov²

¹TRAPEN Co., trapen@abv.bg,

²Dundee precious metals, plamen.petrov@dundeeprecious.com

ABSTRACT

The main considerations in the choice of the sampling step, the length of the records and the filtering of the low-frequency components when planning the statistical investigation of the automation objects are given in the paper. The developed correlation identification method by the example of a semi-autogenous ore mill is illustrated.

Key words: correlation function, filtration, approximation, object parameters

INTRODUCTION

In the ore - dressing industry in our country the wet grinding of the ore in mill aggregates, operating in a closed cycle with a classifier or hydrocyclones, predominates. For the construction of optimal systems for automatic control of the grinding process, it is important to study the type of interrelations between the input and output variables and to give quantitative estimates for the characteristics of the object. The study of the ore grinding process by removing transition characteristics leads to disruption of the normal operation of the mill unit, which causes disruption in the next flotation process. Therefore, in such a case, statistical methods for determining the dynamic characteristics of the mills may be used. The conduct of the experiment, the volume of experimental data and the methods of their processing depend on the characteristics of the random processes[1, 2].

PLANNING STATISTICAL IDENTIFICATION OF AUTOMATION OBJECTS

In order to have the necessary statistical characteristics, it is necessary to properly plan the experiment to obtain the initial realization. In this case, this means correctly choosing the length T_p and the sampling step to of the realization. One of the possible ways to estimate T_p and to is to use the dependence [3]:

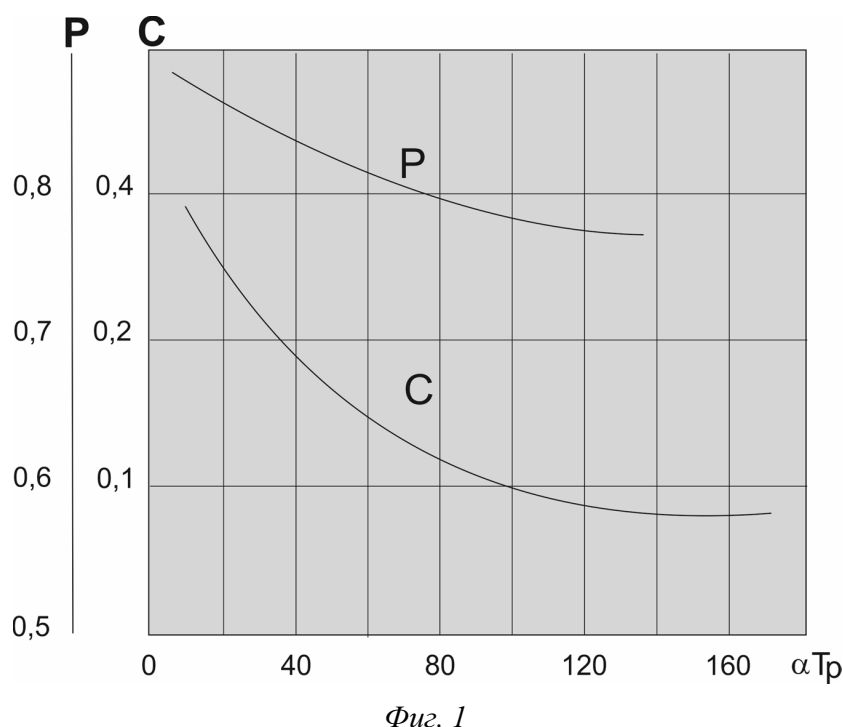
$$\varepsilon(\tau) = \frac{D_R(\tau)}{R_X(\tau)} = \left[C + 0,01 \left(\frac{\alpha t_0}{2} \right) \right] \left[\exp(p\alpha\tau) + \exp(-0,9\alpha\tau) \right] \quad (1)$$

where:

$\varepsilon(\tau)$ - relative error in determining the ordinates of the correlation function, which is the ratio of the dispersions of these ordinates to their mean values

C and p are functions of αT_p given in Fig.1

α - coefficient of inclination of the exponent of $R_X(\tau)$.



The value of α can be obtained directly from the realization of the process, using the formula:

$$n_0 = \frac{1}{\pi} \sqrt{1,5\alpha^2} = 0,39\alpha \quad (2)$$

where:

n_0 - the average intersections from the realization of the mathematical expectation per unit time

The study of the statistical properties of the mills shows that during the experiment the non-stationarity of the site can be neglected. Realization with a duration of 4-5 hours, which can be obtained in normal production conditions is sufficient in terms of statistical representativeness. The accuracy of determining the parameters of the model is strongly affected by the error of calculation of auto- and cross-correlation functions and therefore it is necessary to pre-filtering the low-frequency components of the realizations by filter with a transmission function:

$$W(p) = \frac{pT_\phi}{1+pT_\phi} = 1 - \frac{1}{1+pT_\phi} \quad (3)$$

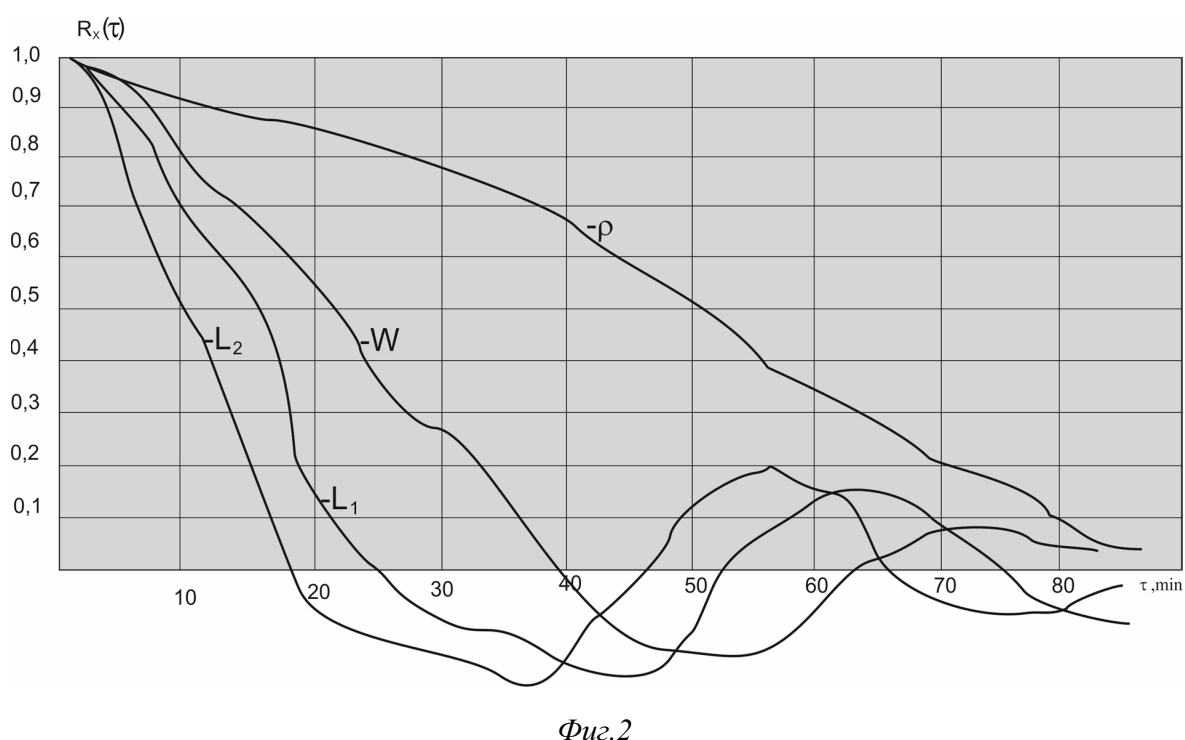
Good results are obtained at $T_\phi = 3-5$ min and sampling step $t_0 = 2$ min.

After pre-filtering the records of the input and output parameters, they can be used to determine the autocorrelation and cross-correlation functions.

STATISTIC IDENTIFICATION OF A SEMI-AUTOGENOUS MILL

The grinding of the ore in the concentration plant of Dundee Precious Metals - Chelopech is carried out in a semi-autogenous mill operating in a closed cycle with hydrocyclones. Figure 2 shows the autocorrelation functions of the intermediate control values: W - weight of the ore in the mill; L_1 -

mill load, measured by a distance SRIP sensor; L_2 - mill load, measured by a direct SDIP sensor and the output control value ρ - the fineness of grinding of the ready pulp. They are calculated from experimental data obtained under normal production conditions with manual control of the grinding process. The above considerations for the choice of the lengths of the realizations and the step of discretization of the controlled parameters when conducting the statistical identification of the automation objects are observed.



Simple approximate expressions for estimating the parameters of the object can be obtained by ignoring the periodic component of the autocorrelation function, ie. to present it with the expression:

$$R_X(\tau) = \sigma_X e^{-\frac{|\tau|}{T}} \quad (4)$$

where:

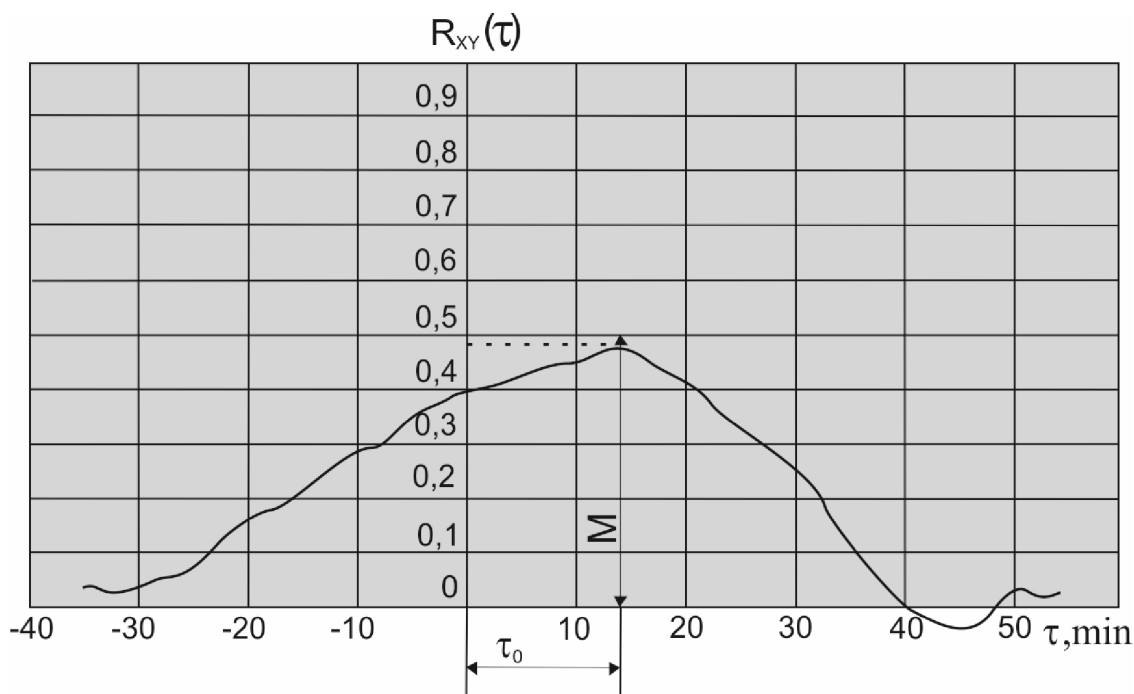
$$\frac{1}{T} = \alpha \quad \text{- slope coefficient of the exponent}$$

Then for $R_{xy}(\tau)$ the next expressions are obtained [4]:

$$R_X(\tau) = \frac{K_0 \sigma_X^2 T}{T_0 - T} e^{-\frac{\tau}{T}} \quad \text{for } \tau > 0 \quad (5)$$

$$R_{xy}(\tau) = \frac{K_0 \sigma_x^2 T}{T_0 + T} \left(\frac{2T_0}{T_0 - T} e^{-\frac{\tau}{T_0}} - \frac{T_0 + T}{T_0 - T} e^{-\frac{\tau}{T}} \right) \quad \text{for } \tau > 0 \quad (6)$$

Based on the dependences (5) and (6), we have developed a correlation method for the identification of the mill unit. The statistical approximation of the transition functions of the individual channels of the mill unit by a first-order link with a delay is completely satisfactory, as the observed nonlinearity and nonstationarity of the object are averaged over the time of recording the realizations of the random process. The sequence of actions according to the developed algorithm is illustrated below by the example of the uncontrolled channel $\rho - L_1$, the cross-correlation function of which is given in Fig.3.



Фиг.3

1. Filtering X and Y records and calculate $R_X(\tau)$ and $R_{XY}(\tau)$

2. Approximation of $R_X(\tau)$ by the dependence (4) and calculation

$$\alpha = \frac{n_0}{0,460} = \frac{16}{24} = 0,67; \quad T = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{0,67} = 1,49$$

3. Determination by $[R_{XY}(\tau)]_{\max}$ $M = 0,48$; time delay $\tau_0 = 14$

4. Determination of the correlation coefficient at the point of intersection of $R_{XY}(\tau)$ with the ordinate axis $r_{xy} = 0,38$

5. Calculation $P = \sigma_x \sigma_y r_{xy} = 2,8 \times 1,27 \times 0,38 = 1,35$

6. Calculation time constant T_0

$$T_0 = T \left(\frac{P}{M} - 1 \right) = 1,49 \left(\frac{1,35}{0,48} - 1 \right) = 40,4$$

7. Calculation transmission coefficient K_0

$$K_0 = \frac{\sigma_y r_{xy}}{\sigma_x} = \frac{1,27 \cdot 0,38}{2,8} = 0,16$$

Table 1 shows the parameters of the studied uncontrolled channels (correlation coefficients r_{xy} , time delays τ_0 , time constants T_0 and transmission coefficients K_0), determined by the above algorithm.

Table 1

Channel	Correlation coefficient	Transmission coefficient K_0	Time delay τ_0 [min]	Time constant T_0 [min]
$\rho - L_1$	0,38	0,16	14,0	40,4
$\rho - L_2$	0,41	0,15	13,2	35,2
$\rho - W$	0,48	0,27	18,5	44,3

The results of the identification of the mill unit according to the proposed algorithm are used in the choice of the most efficient control actions and variant of the information - control structure of the ore grinding process automatic system.

CONCLUSION

From the conducted research and the obtained results the following recommendations can given when performing statistical identification of the mill aggregates:

1. When it is necessary to determine the parameters of an uncontrolled channel, it is recommended to use the correlation method of identification according to the developed algorithm
2. When calculating the correlation functions from the experimental records of random processes, it is necessary to pre-filter the low-frequency spectral components by filter with a transmission function (3) and a time constant of 3 - 5 min
3. The length of the experimental records for calculating the correlation functions may not exceed 5 hours with a sampling step of 2 min

REFERENCES

1. Y.E. Gelfand "Statistical study of raw materials grinding process" (in Russian), collection of works of VIASM, vol. 1, 1967
2. A.N. Maryuta, V.A. Bunko "Experimental determination of the statistical characteristics of the control objects in concentration plants"(in Russian), M., Nedra, 1969
3. "Automation of chemical production "(in Russian), edited by N.S. Raibman, M., Nauka, 1978
4. G.N. Balasanov "Optimal control of hydrometallurgical processes" (in Russian), M., Atomizdat, 1967

УПРАВЛЕНИЕ НА НАТОВАРВАНЕТО НА ПОЛУАВТОГЕННА МЕЛНИЦА ПО КОСВЕН ВИБРАЦИОНЕН ФАКТОР

Пламен Петров

Dundee precious metals, email: plamen.petrov@dundeeprecious.com

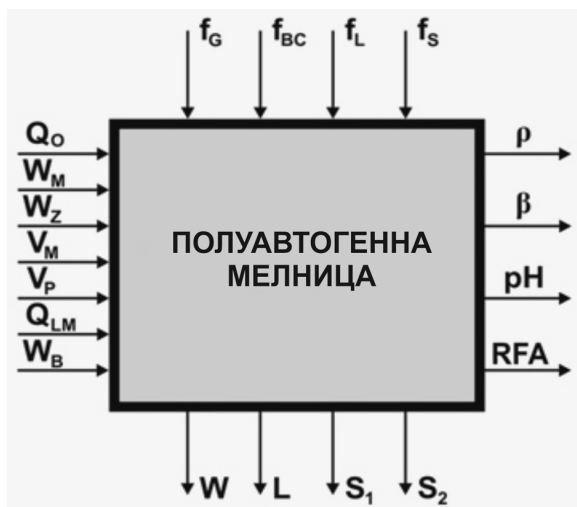
ABSTRACT

The report examines the vibration signal from a direct sensor mounted on the gearbox housing of the drive motor of the semi-autogenous mill. Active experiments were conducted to determine the parameters of the control object on this channel, as well as the optimal settings of the digital filter the microprocessor module processing the signal from the sensor.

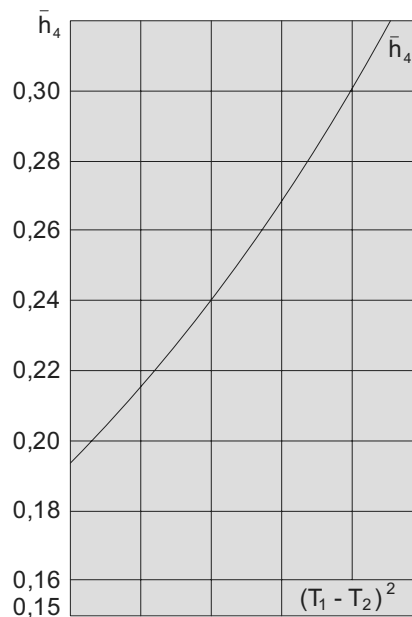
Keywords: vibration factor, direct sensor, algorithm, approximation

УВОД

По каналите за управление на процеса смилане полуавтогенната мелница за смилане на рудата в Dundee precious metals - Челопеч може да се представи със структурата, показана на фиг.1, където [1]:



Фиг.1



Фиг.3

Управляващи въздействия: Q_O – количеството руда, подавана за смилане в мелницата; W_M – количеството вода, подавана в мелницата; W_Z – вода, подавана в зумпфа; V_M – обороти на мелницата; V_P – обороти на помпата; Q_{LM} – количество варно мляко; W_B – вода, подавана в бутарата.

Междинни регулируеми величини: W – тегло на рудата в мелницата; S_1 – натоварване на мелницата от датчик SRIP; S_2 – натоварване на мелницата от датчик SDIP; L – ниво на пулпа в зумпфа.

Изходни регулируеми величини: ρ – плътност на пулпа; β – финост на смилане; pH – на пулпа; RFA – параметри, измервани от рентгенофлуорисцентен анализатор.

Смущаващи въздействия: f_G - измененията в смилаемостта на рудата; f_{BC} - количество на топковия товар; f_L - износване на топките и облицовките; f_S - количество на пясъците.

С цел повишаване ефективността на процеса смилане на мелницата, интерес представлява изследването на вибрационния сигнал S2 от директния датчик SDIP, монтиран на корпуса на редуктора. За определяне параметрите на обекта по този канал за управление предварително бяха проведени експерименти за определяне оптималните настройки на цифровия филтър на микропроцесорния модул MILLCON 2A, обработващ сигнала от датчика, а именно: F_r - честота на среза на филтъра; FO - ред на филтъра; FA - програмен коефициент на усилване на сигнала от датчика; CF - коефициент на фактора на смилане; tA - интервал на усредняване по пет точки на фактора FG ; tO - тип на аналоговия изход на FG , нормален или инверсен (nor, inv). Определените оптимални настройки на основните параметри на филтъра са дадени в Таблица 1.

Таблица 1

Датчик	Параметри на филтъра					
	F_r	FO	FA	CF	tA	tO
SDIP	250	2	1	300	10	Nor

АЛГОРИТЪМ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА ОБЕКТА ПО ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО СЧЕТИ ПРЕХОДНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Експерименталните преходни характеристики на сложните обекти са решения на диференциални уравнения от висок ред. Намирането на точните уравнения най-често нито е възможно, нито е необходимо. Ето защо те се заменят с по-прости уравнения, които удовлетворяват изискванията. Най-разпространеният начин за апроксимация е чрез използване на елементарни динамични звена.

За обекти със самоизравняване и със слабо изразена инфлексна точка с допустима точност се ползва апроксимация от първи ред, т.е. обектът за управление се представя като последователно свързани звена с чисто закъснение и апериодично звено:

$$W_{OB}(p) = \frac{y(p)}{x(p)} = W_1(p) \cdot W_2(p) = \frac{K_o e^{-\tau_0 p}}{1 + T_o p} \quad (2.8)$$

където: K_o - коефициент на предаване; T_o - време константа; τ_0 - времезакъснение

За определяне параметрите на обекта по експериментално снетите преходни характеристики е използвана блоковата схема на алгоритъма, дадена на фиг.2. Последователността при апроксимацията и определянето на параметрите на обекта е следната [3,4]:

1. Определя се коефициента на предаване на обекта K_o , при което изменението на изходната величина Δy и големината на входното единично въздействие Δx са в проценти от обхвата съответно на измервателния уред (датчика) и на регулиращия орган
2. Извършва се нормиране на преходната характеристика и се намира $h(t)$
3. За $\bar{h}(t) = 0,7$ се отчита времето t_7
4. За време $t_4 = \frac{t_7}{3}$ се намира стойността на h_4 от нормираната характеристика
5. В случай, че $0,191 \leq h_4 < 0,33$ преходната характеристика се апроксимира към решението на следното уравнение в операторен вид:

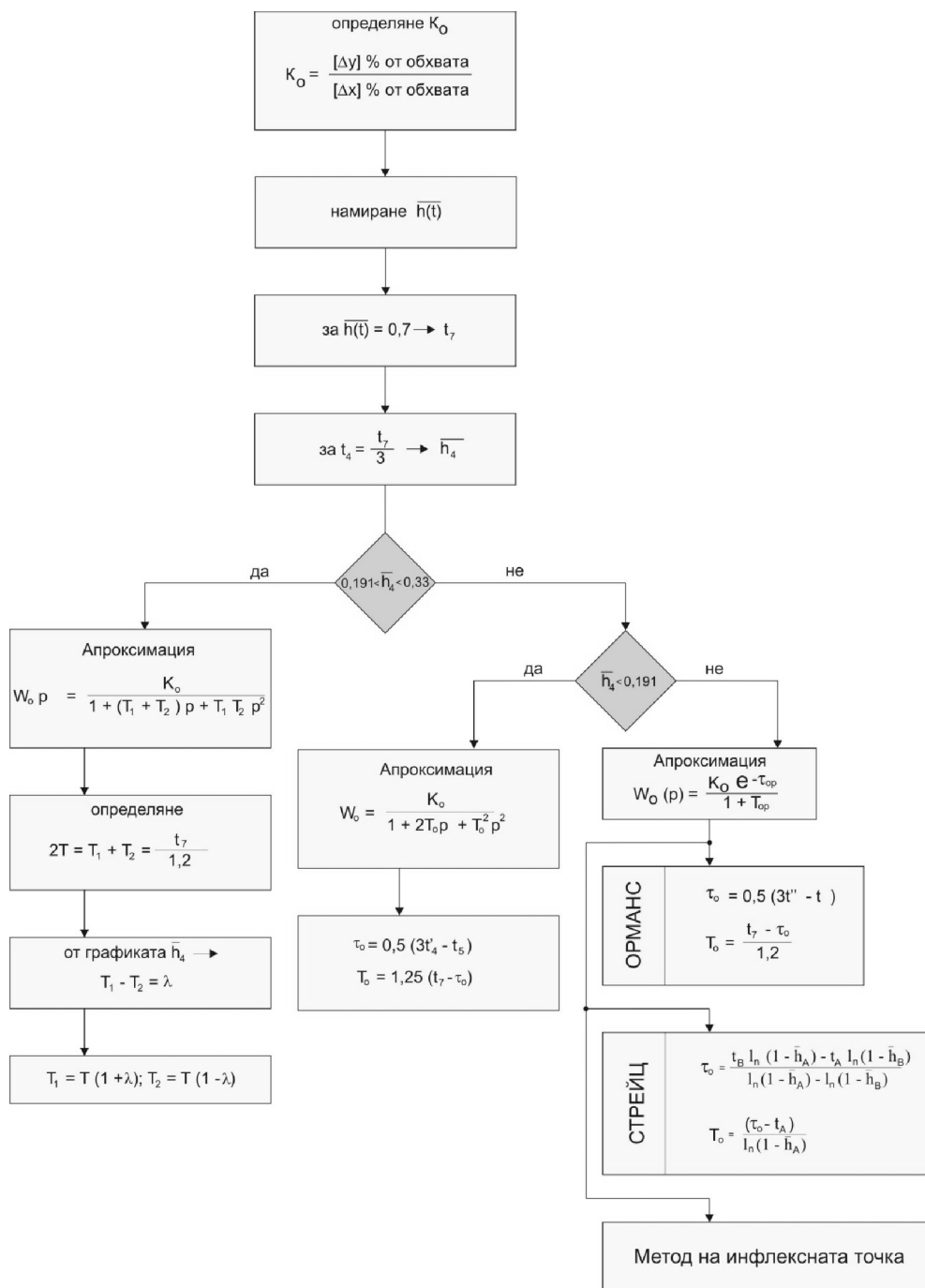
$$[T_1 T_2 p^2 + (T_1 + T_2) p + 1] y(p) = K_o x(p) \quad (2.9)$$

5.1. Определя се $2T = T_1 + T_2 = \frac{t_7}{1,2}$ (2.10)

5.2. От графиката $\bar{h}_4 = f(T_1 - T_2)^2$ (фиг.3) се определя $\lambda = (T_1 - T_2)^2$ за стойността h_4 , получена в т.4.

5.3. Изчисляват се T_1 и T_2 по формулите:

$$T_1 = T(1 + \lambda); T_2 = T(1 - \lambda) \quad (2.11)$$



Фиг.2

6. Ако $h < 0,191$ преходната характеристика се апроксимира към решаването на уравнението

$$[T_o^2 \cdot p^2 + 2 T_o p + 1] y(p) = K_o \cdot e^{-\tau_o p} x(p) \quad (2.12)$$

6.1. В такъв случай от нормираната преходна характеристика се определя времето t_4 , съответстващо на $\bar{h}_4 = 0,191$ и се изчислява времезакъснението на обекта по формулата

$$\tau_o = 0,5 (3t_4 - t_7) \quad (2.13)$$

6.2. Изчислява се времекопектанта на обекта T_o по формулата

$$T_o = \frac{t_7 - \tau_o}{1,2} \quad (2.14)$$

Приема се, че тази времекопектанта е разделена поравно между T_1 и T_2

7. Ако $\bar{h}_4 > 0,33$ апроксимацията на експерименталната преходна характеристика се извършва към уравнението

$$(T_o p + 1) y(p) = K_o e^{-\tau_o p} x(p) \quad (2.15)$$

7.1. Подходът на Орманс в този случай изисква да се определи времето t_4'' , съответстващо на граничната стойност от нормираната характеристика $\bar{h}_4 = 0,33$, след което се изчисляват τ_o и T_o от изразите

$$\tau_o = 0,5 (3t_4'' - t_7); \quad T_o = \frac{t_7 - \tau_o}{1,2} \quad (2.16)$$

7.2. В случай на апроксимация към уравнение (7) може да се ползва и методът на Стрейц. При него нормираната преходна характеристика се апроксимира в т.А (инфлексната точка на характеристиката) и в т.В, съответстваща на $\bar{h}(t) = 0,85 \div 0,90$. Параметрите на обекта τ_o и T_o се определят от изразите

$$\tau_o = \frac{t_A \ln \left(1 - \bar{h}_B \right) - t_B \ln \left(1 - \bar{h}_A \right)}{\ln \left(1 - \bar{h}_B \right) - \ln \left(1 - \bar{h}_A \right)} \quad (2.17)$$

$$T_o = \frac{t_A - \tau_o}{\ln \left(1 - \bar{h}_A \right)} = \frac{t_B - \tau_o}{\ln \left(1 - \bar{h}_B \right)} \quad (2.18)$$

7.3. В случай на горната апроксимация може да се приложи и методът на инфлексната точка или бързия инженерен метод за определяне параметрите на обекта за автоматизация, дадени в [5].

В инфлексната точка А се прекарва допирателна, пресечната точка на която с оста на времето t определя времезакъснението на обекта τ_o . Времекопектанта на обекта се определя от времето, за което нормираната преходна характеристика достига до стойност 0,63. Времезакъснението на обекта при инженерния метод се определя от времето за което нормираната преходна характеристика достига 0,05. В този случай се избягва субективния фактор при прекарването на допирателна в инфлексната точка А.

АКТИВНИ ЕКСПЕРИМЕНТИ ЗА СНЕМАНЕ НА ПРЕХОДНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

При снемане на преходните характеристики по управляемия канал на междинната регулируема величина S_2 и входното управляващо въздействие, количеството на рудата Q_0 , постъпващо в мелницата, се изменяше със скок в посока увеличава и намалява с 40% от номиналното натоварване. Представителните преходни характеристики при увеличаване и при намаляване на рудата показват, че до определена точка реакцията е предизвикана от изменението на рудата, а след тази точка влиза в действие и промяната на възвратната едра фракция (пясъците) от хидроциклоните. Тази особеност е характерна за всички мелнични агрегати, работещи в затворен цикъл.

Преходните характеристики са преобразувани в нормиран вид.

Обектът за управление по дадения канал е апроксимиран с предавателна функция от първи ред със закъснение. Параметрите на обекта: K_0 - коефициент на предаване, τ_0 - времезакъснение и T_0 - времекопстанта са определени в следната последователност:

$$K_0 = \Delta S_2[\%] / \Delta Q_0[\%] = 0,09 / 0,375 = 0,24$$

при което:

ΔS_2 - промяната на теглото на рудата в мелницата в проценти от обхвата на измерване

ΔQ_0 - промяната на рудата, постъпваща в мелницата в проценти от обхвата на измерване на дозиращата везна

От фиг.5 по метода на Орманс за нормираната преходна характеристика при намаляване на рудата са определени:

$$t_7 = 18\text{min и } t_3 = 10,7\text{min и са изчислени:}$$

$$T_0 = 1,25 (t_7 - t_3) = 1,25(18-10,7) \approx 9,2$$

$$\tau_0 = 0,5 (3t_3 - t_7) = 0,7(3 \cdot 10,7 - 18) \approx 7,0$$

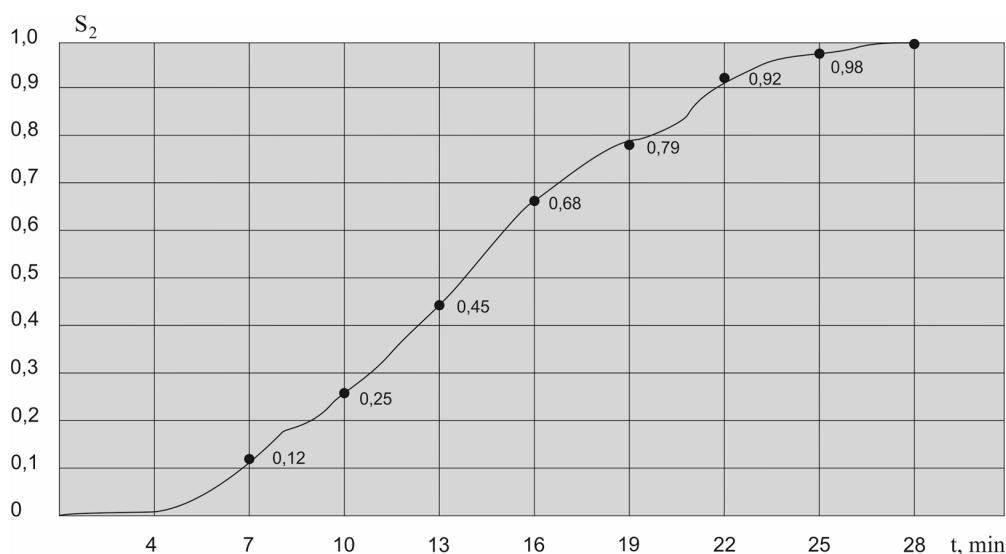
От нормираната преходна характеристика при увеличаване на рудата (фиг.6) са определени $t_7 = 46,5$ и $t_3 = 17,5$ и са изчислени:

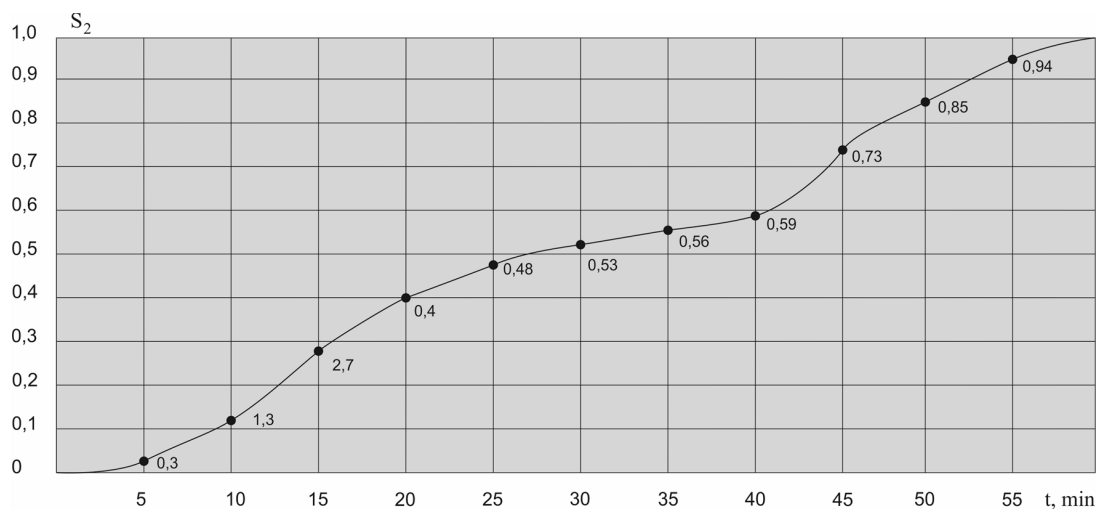
$$T_0 = 1,25 (46 - 17,5) \approx 36, \quad \tau_0 = 0,5 (3 \cdot 17,5 - 46,5) \approx 3,0$$

Определените параметри от фиг.7 по бързия инженерен метод са следните:

$$K_0 = 0,24; \tau_0 = 4,5; T_0 = 10,8$$

Тези от нормираната преходна характеристика при увеличаване на рудата (фиг.8) са следните: $K_0 = 0,24; \tau_0 = 5,1; T_0 = 35,1$





Фиг. 5, 6

Параметрите на мелницата по канала за управление S2, определени по метода на Орманс и инженерния метод в посока увеличава и намалява на управляващото въздействие, са дадени в таблица 2. Сравнителният анализ на данните от таблицата, получени по двата метода, показва, че с изключение на 2-3 данни, имаме значително съвпадение. Ето защо за целите на оптималната настройка на параметрите на регулаторите са ползвани усреднените параметри, дадени в таблица 3.

Таблица 2

ПАРАМЕТЪР	МЕТОД	УВЕЛИЧАВА			НАМАЛЯВА		
		K ₀	τ ₀	T ₀	K ₀	τ ₀	T ₀
S2	ОРМАНС	0,24	3,0	36,2	0,24	7,0	9,2
	ИНЖЕНЕРЕН	0,24	5,1	35,1	0,24	4,5	10,8

Таблица 3

Канал за управление		τ ₀ [min]	T ₀ [min]	K ₀
S2 – Q ₀	↑ увеличава	4,0	35,6	0,24
	↓ намалява	5,8	10	0,24

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведените активни експерименти за определяне параметрите на полуавтогенната мелница по канала за управление на натоварването й S2 – Q₀, измервано от директния датчик SDIP, монтиран на редуктора на задвижващия двигател, показват следното:

1. Определени са оптималните настройки на цифровия филтър на микропроцесорния модул MILLCONT 2A за директния датчик, дадени в Таблица 1.
2. Сравнителният анализ на параметрите на мелницата, определени по метода на Орманс и бързия инженерен метод в посока увеличава и намалява на управляващото въздействие, показва, че има значително съвпадение на получените резултати и ето защо за целите на оптималната настройка на регулатора в този контур ще се ползват усреднените параметри, дадени в Таблица 3.
3. Сигналят от директния датчик SDIP с определен тегловен коефициент може да се сумира с този от дистанционния датчик, монтиран на дистанция 250 mm от корпуса



на мелницата в мястото на падане на топките, с цел повишаване ефективността на процеса смилане.

ЛИТЕРАТУРА

1. T. Penzov, H. Nonchev, P. Petrov "Microprocessor control system for optimization of ore-grinding process in semiautogenous mill", 5th Jubilee Mining Congress BALKANMINE, Ohrid, Macedonia, 2013
2. T. Penzov, P. Petrov "New technical means for control of grinding process", BULLETIN OF MINES, No 1-2, Vol CXVII, Beograd, Serbia, 2020
3. Т.Петков"Идентификация на обектите за автоматизация", Техника, 1972
4. Е. Гарипов"Идентификация на системи", Технически университет, София, 2004
5. Т. Пензов"Курс по настройка на цифрови системи за управление", записки, 2020

ИЗБОР НА ИНФОРМАЦИОННО – УПРАВЛЯВАЩА СТРУКТУРА НА СИСТЕМАТА ЗА НАТОВАРВАНЕ НА ПОЛУАВТОГЕННА МЕЛНИЦА

Пламен Петров

Dundee precious metals, plamen.petrov@dundeeprecious.com

ABSTRACT

The obtained parameters of the mill as an object for automation are used in choosing the type of regulator and the law of regulation. The sequence of determining the parameters of the controller according to the algorithm developed for this purpose is traced. The information-control structure of the system for loading the semi-autogenous ore mill has been selected and the settings of the regulators of the newly built control loops, have been given.

ВЪВЕДЕНИЕ

Основно изискване към системата за автоматизация е да реализира оптимален преходен процес, т.е. да удовлетворява зададените технологични изисквания. Ето защо определянето на параметрите за настройка на регулатора е особено важен момент при въвеждането на системата в редовна експлоатация.

Методите за настройка на регулатора могат да се обособят в няколко групи, едната от които е тази на приблизителните (инженерни) методи. Те използват графики, номограми или готови рецепти (формули), които изразяват определени зависимости между параметрите на обекта и регулатора за трите типа преходни процеси: апериодичен преходен процес с минимално време на регулиране, процес с 20% пререгулиране и минимално време на първия полупериод и процес с минимална стойност на квадратичния интегрален критерий [1,2]. В тези случаи се допуска, че апроксимацията на обекта може да се извърши с апериодично звено от първи ред (за обекти със самоустановяване) или интегриращо звено (за обекти без самоустановяване) плюс звено с чисто закъснение.

ИЗБОР НА ТИПА НА РЕГУЛАТОРИТЕ И ЗАКОНИТЕ ЗА РЕГУЛИРАНЕ

Получените параметри на модела на мелницата като обект за автоматизация (Таблица 1) по междинните регулируеми параметри W - сигнал от тегловната клетка; S_1 - сигнал от дистанционния датчик и S_2 - сигнал от директния датчик се ползват при избора на типа на регулатора и закона на регулиране. Блоквата схема на разработения алгоритъм за тази цел е дадена на фиг.1.

Таблица 1

Канал за управление		τ_0 [min]	T_0 [min]	K_0
$W - Q_0$	↑ увеличава	4,0	35,6	0,24
	↓ намалява	5,8	10	0,24
$S_1 - Q_0$	↑ увеличава	2,8	36,8	0,46
	↓ намалява	2,5	15,2	0,46
$S_2 - Q_0$	↑ увеличава	2,9	28,0	0,52
	↓ намалява	3,4	16,6	0,52

Последователността на работа е следната [3,4,5]:

1. Въвеждат се параметрите на обекта K_0 , τ_0 , T_0
2. Определя се съотношението τ_0/T_0

3. Когато това съотношение е по-малко от 0,2 може да се избере позиционен (релеен регулатор).

Областта на приложение на позиционните регулатори е ограничена до обекти с малка инерционност и при които не се изисква висока точност на стабилизация.

4. При $0,2 \leq \frac{\tau_o}{T_o} \leq 1$ се избира непрекъснат закон на регулиране. В този случай последователността на настройката на ПИД - регулатор при апериодичен преходен процес е следната:

4.1. Изчислява се
$$K_p = \frac{0,6}{\frac{\tau_o}{T_o}} K_o \quad (3.1)$$

4.2. Изчислява се $T_i = (0,6 \div 0,7) T_o \quad (3.2)$

4.3. Изчислява се $T_d = (0,1 \div 0,2) T_i \quad (3.3)$

4.4., 4.5., 4.6. В случай на използване на цифров (микропроцесорен) регулатор се коригират така изчислените настройки по следния начин:

$$K_p^* = \frac{K_p}{1,5}; \quad T_i^* = \frac{T_i}{1,5}; \quad T_d^* = \frac{T_d}{3} \quad (3.4)$$

За колебателен преходен процес с 20% пререгулиране $K_{p, \text{кол}}^* = 1,7 K_{p, \text{пер}}^*$.

4.7. Определя се такта на управление

$$T = (0,1 \div 0,35) \tau_o \quad (3.5)$$

Времето за регулиране t_p за избрания закон за регулиране не трябва да превишава зададеното в Таблица 2 [6]

Таблица 2

Регулатор	Време за регулиране t_p при типов преходен процес		
	Апериодичен	$\sigma = 20\%$	$\min \int_0^{\infty} \Delta y^2(t) dt$
П	$4,5 \tau_o$	$6,5 \tau_o$	$9 \tau_o$
ПИ	$8 \tau_o$	$12 \tau_o$	$16 \tau_o$
ПИД	$5,5 \tau_o$	$7 \tau_o$	$10 \tau_o$

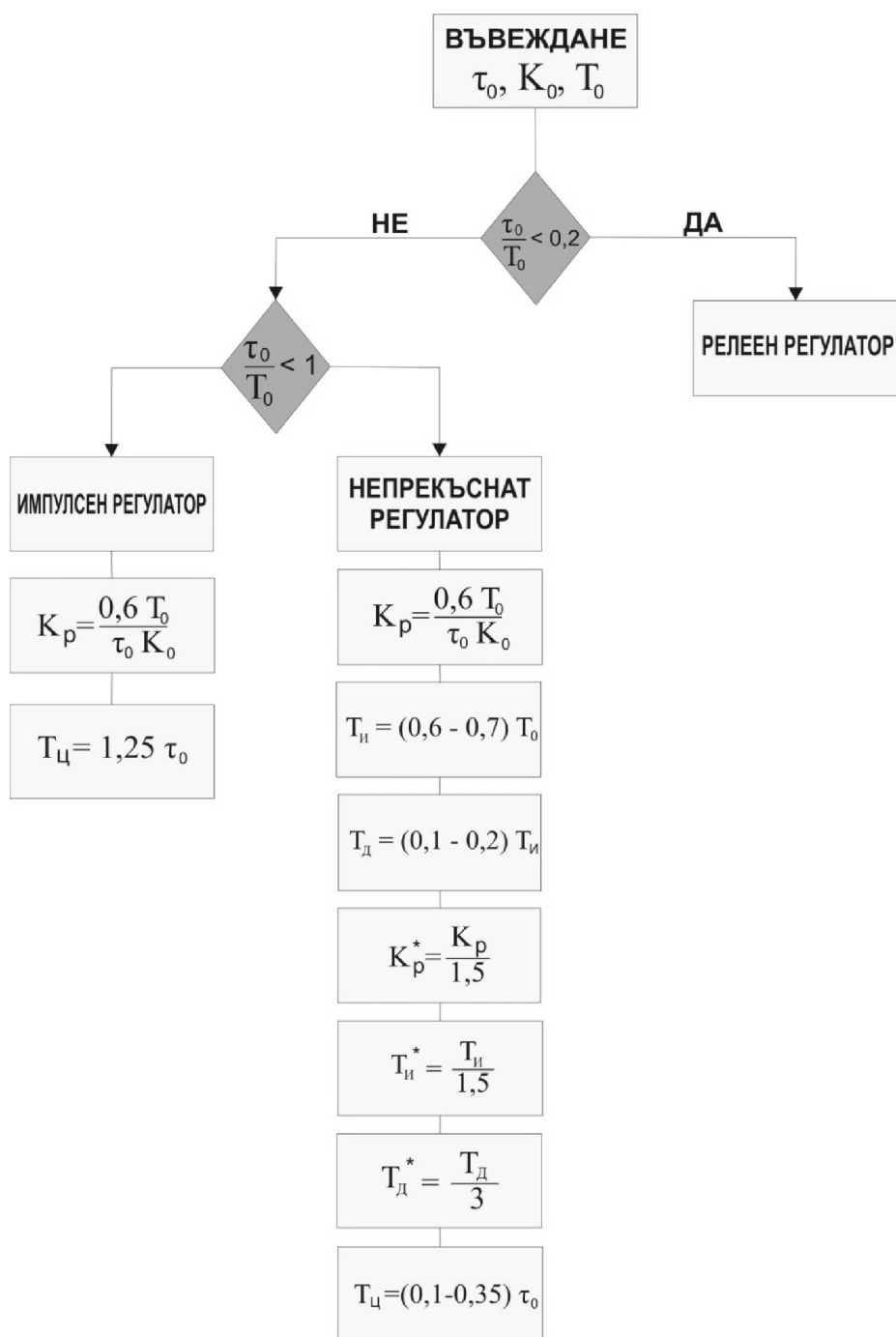
5. В случай, че съотношението $\frac{\tau_o}{T_o} > 1$ се избира импулсен регулатор. Обикновено

импулсният регулатор се прилага при реализиране на каскадни системи за управление, при които стабилизиращия контур съдържа регулатор с непрекъснат закон, а в коригиращия контур е включен импулсният регулатор.

Когато двата контура се различават съществено по динамика е възможна замяна на двуконтурната система на регулиране от две едноконтурни с автономни независими настройки на регулаторите. В този случай настройките на импулсния регулатор се определят така:

5.1. Изчислява се
$$K_p = \frac{0,6}{\frac{\tau_o}{T_o}} K_o \quad (3.6)$$

5.2. Настройва се цикъла на управление $T_{\text{ц}} = 1,25\tau_o$ (3.7)



Фиг.1

ИЗБОР НА ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯВАЩАТА СТРУКТУРА НА СИСТЕМАТА ЗА УПРАВЛЕНИЕ

Избрана е следната информационно-управляваща структура на системата за натоварването с руда на полуавтогенната мелница (фиг.2):

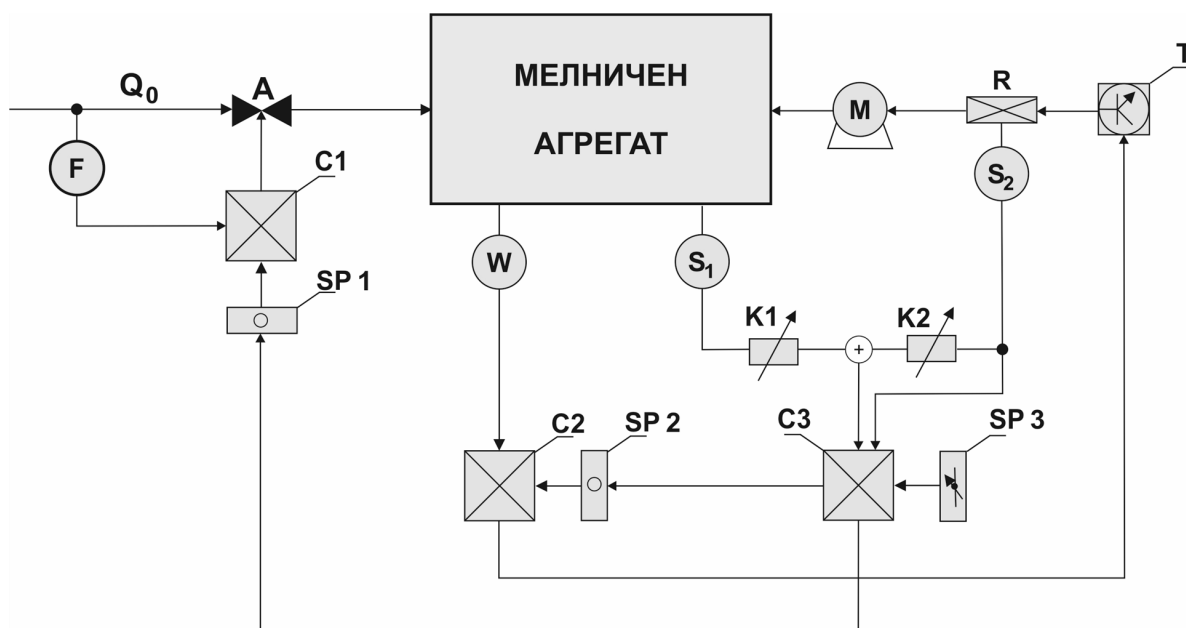
Съществуващи контури за управление

1. Контур за стабилизация на захранващата руда, съдържащ теглоизмерителя F, регулатора C1 със задатчик SP1 и изпълнителния механизъм A.
2. Контур за управление натоварването на мелницата, съдържащ теглоизмерителната клетка W, регулатора C2 със задатчик SP2 и транзисторния инвертор T, въздействащ чрез редуктора R за изменение на оборотите на задвижващия мелницата високоволтов двигател M. Недостатък на този контур е, че оборотите се изменят в сравнително широк диапазон, при което в дадени моменти смилащите топци падат не върху рудата, а удрят по облицовката на мелницата. Това води до чупене на бронеплочи и спиране на мелницата за подмяната им. Регулаторите на съществуващите два контура за управление са формирани от управляващата система SIMATIC S7 – 400.

Новоизградени контури за управление

1. Контур за корекция на заданието на захранващата руда, съдържащ дистанционния датчик за натоварване на мелницата S1 и директния датчик S2, които чрез тегловните коефициенти $K1 = 0,6$ и $K2 = 0,4$ подават сумарен сигнал на входа на регулатора C3, въздействащ върху автоматичния задатчик SP1 на първия контур C1.
2. Контур за корекция на заданието за натоварване на мелницата, съдържащ директния датчик S2, който чрез регулатора C3 въздейства върху автоматичния задатчик SP2 на втория контур C2.

Тези два контура са изградени на базата на разработените нови технически средства: дистанционен SRIP и директен SDIP датчици за измерване на ударни импулси и новия двуконтурен микропроцесорен управляващ модул MILLCONT 2A



Фиг.2

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НАСТРОЙКИТЕ НА РЕГУЛАТОРИТЕ В КОНТУРИТЕ ЗА УПРАВЛЕНИЕ

Настройките на регулаторите на новоизградените контури за управление протича в следната последователност:

А. Настройка на контура за корекция на заданието на захранващата руда. Регулаторът на този контур се програмира на първи канал на разработения в микропроцесорния модул MILLCON 2A специализиран цифров ПИД - регулатор, който има следните особености:

- две групи от параметри за настройка на П-част (PP(n)), И-част (IP(n)), Д-част (dP(n)), зона на линейна работа (LP(n)), зона на нечувствителност (nP(n)) и ограничения на нарастването на изходния сигнал (dOP(n)). Групите се превключват в зависимост от знака на разсъгласуване на входа на регулатора (индекс "P" за плюс разсъгласуване и индекс "n" за минус разсъгласуване). Под знак на разсъгласуване се разбира знака на разликата задание минус сигнал.

- период с програмируема дължина за усредняване на входния сигнал (tA). За пет стъпки от този период се усреднява чрез пълзящо средно входната величина.

- период с програмируема дължина за извеждане на изчисленото управляващо въздействие на регулатора (PL).

- Изходът на регулатора може да се програмира като нормален (normal) или като инверсен (inverse).

- регулаторът може да се изключва (OPEN), при което изпълнителният механизъм може да се управлява ръчно от бутони.

- В MILLCONT 2A е заложен ПИД - регулатор с аналогов изходен сигнал 0(4) – 20mA, който се описва със следното уравнение:

$$Y_n = \left[P_r X_n + \frac{T}{T_i} \sum_{K=0}^n X_K + \frac{T_d}{T} (X_n - X_{(n-1)}) \right] \frac{100}{f_{обхв.}} \% \quad (3.8)$$

където:

Y_n - сумарният изходен сигнал в % от 0(4) - 20mA в n-тия момент на квантоване.

$X_n, X_{(n-1)}$ - разсъгласуване на входа на регулатора в n и (n-1) момент на квантоване.

($X_n = F_n - SP$; $X_{(n-1)} = F_{(n-1)} - SP$; F -сигнал; SP -задание)

P_r - коефициент на пропорционалност на регулатора;

T_i - времеконстанта на интегриране на регулатора, [s];

T_d - времеконстанта на диференциране на регулатора, [s];

T - период на квантоване, [s];

$f_{обхв.}$ - обхват на входният сигнал, зададен чрез разликата между зададените горна и долна граници на сигнала.

Съгласно данните за параметрите на обекта (Таблица 1) и зависимостите (3.1), (3.2), (3.3), (3.4) и (3.5) са изчислени настройките на регулатора за ПИД - закон. Параметрите на регулатора в посока на действие увеличава и намалява, а именно K_p - коефициента на пропорционалност, T_i - времеконстантата на интегриране, T_d - времеконстантата на диференциране и $T_{ц}$ - цикъла на управление, а също така специфичните параметри Z_1 - зоната на линейна работа, Z_n - зоната на нечувствителност и dO - ограничението на изхода

на регулатора, които се програмират в специализирания закон за управление на микропроцесорния модул MILLCONT 2A, са дадени в Таблица 3.

Таблица 3

Контур $S_1 - Q_0$	Параметри на регулатора						
	K_p^*	$T_i^* [S]$	$T_d^* [S]$	$T_{\Sigma}^* [S]$	$Z_l [\%]$	$Z_n [\%]$	$dO [\%]$
УВЕЛИЧАВА	12,0	480	44	15	25	0,6	50
НАМАЛЯВА	5,3	365	18	15	20	0,8	50

Б. Настройка на контура за корекция на заданието за натоварването на мелницата

Регулаторът на този контур се програмира на втория канал на микропроцесорния модул MILLCONT 2A и действа като импулсен регулатор с аналогов изход с такт на управление $T = 1,25\tau_0 = 240s$. Настройките на импулсния регулатор, изчислени съгласно (3.6) и (3.7), са дадени в Таблица 4.

Таблица 4

Контур $S_2 - Q_0$	Параметри на регулатора						
	K_p^*	$T_i^* [S]$	$T_d^* [S]$	$T_{\Sigma}^* [S]$	$Z_l [\%]$	$Z_n [\%]$	$dO [\%]$
УВЕЛИЧАВА	7,5	670	34	240	25	0,6	50
НАМАЛЯВА	3,7	400	20	240	20	0,8	50

Изходният сигнал от импулсния регулатор коригира заданието на регулатора за натоварване на мелницата в границите на $\pm 20\%$ от обхвата на изменение на оборотите й.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Получените параметри на мелницата по каналите за управление на натоварването й са ползвани при избора на типа на регулатора и параметрите на закона за регулиране по разработения алгоритъм (фиг.1)
- Избрана е информационно – управляващата структура на системата за натоварване с руда на полуавтогенната мелница, описани са съществуващите контури за управление и са изтъкнати техните недостатъци
- Разработени са два нови контура за управление, които премахват недостатъците в управлението на съществуващите контури:
 - Контур за корекция на заданието на захранващата руда
 - Контур за корекция на заданието за натоварване на мелницата, изградени на базата на усъвършенстваните технически средства за контрол и управление на процеса смилане
- Изчислените настройки на регулаторите на новоизградените контури за управление се ползват при моделирането и симулирането им за определяне на най-ефективни управляващи въздействия.



ЛИТЕРАТУРА

1. Т. Петков "Идентификация на обектите за автоматизация", София, Техника, 1972
2. Е. Гарипов "Идентификация на системи", част 1, Технически университет, София, 2004
3. Р. Изерман "Цифрови системи за управление", Мир, Москва, 1984
4. И. Божов "Основи на автоматичното управление на технологични процеси", Стройиздат, 1966
5. Т. Пензов "Курс по настройка на цифрови системи за управление", Записки, 2020
6. Ф. Изаков и др. "Курсовое и дипломное проектирование по автоматизации технологических процессов", Техника, 1972

ECOLOGICAL MONITORING OF CONTAMINATED SOILS AS A RESULT OF ANTHROPOGENIC ACTIVITY. INDICATORS OF ONGOING PROCESSES, CHANGES IN CHEMICAL COMPOSITION AND DEPLETION OF NUTRIENTS IN SOILS

Ivaylo Nikolov
email: ivaylonikolov23@gmail.com

ABSTRACT

As a result of the anthropogenic impact on soil cover worldwide, significant changes in the natural soil process occur and new soils and substrates are formed. Anthropogenization of soils is a recent process in which a specific soil group called anthropogenic soils is formed under the dominant influence of the anthropogenic factor. The process is manifested by a significant change of natural soils and the formation of new soils and substrates. The main sources of impact on soils are mineral extraction (mining, coal industry, sand, gravel, etc.), the chemical and metallurgical industries, improper use of chemical plant protection products, irrigation with contaminated water, transport and other activities.

Keywords: environmental monitor, mineral extraction, reclamation.

ЕКОЛОГИЧЕН МОНИТОРИНГ НА ЗАМЪРСЕНИ ПОЧВИ В РЕЗУЛТАТ НА АНТРОПОГЕННА ДЕЙНОСТ. ИНДИКАТОРИ ЗА ПРОТИЧАЩЕТЕ ПРОЦЕСИ, ПРОМЕНИ В ХИМИЧНИЯ СЪСТАВ И ОБЕДНЯВАНЕ НА ХРАНИТЕЛНИТЕ ВЕЩЕСТВА В ПОЧВИТЕ

Инж. Ивайло Николов
email: ivaylonikolov23@gmail.com

РЕЗЮМЕ

В резултат на антропогенното въздействие върху почвената покривка в световен мащаб настъпват съществени изменения в естествения почвообразователен процес и се образуват нови почви и субстрати. Антропогенизацията на почвите е съвременен процес, при който под доминиращото влияние на антропогенния фактор се формира специфична почвена група, наречена антропогенни почви. Процесът се проявява в съществено изменение на естествените почви и формирането на нови почви и субстрати. Основни източници на въздействие върху почвите е добива на полезни изкопаеми са (рудодобивна, въгледобивна промишленост, пясък, чакъл и т.н.), химическата и металургичната промишленост, неправилната употреба на химични средства за растителна защита, напояване със замърсени води, транспортна и други дейности.

Ключови думи: екологичен мониторинг, добив на полезни изкопаеми, рекултивация.

Globally, the development of the industry is accompanied by an increase in global concern about the environment, climate change, energy security and increasing resource scarcity.

The concept of sustainable development includes the concept of sustainable production, which is only possible if environmental measures are taken and implemented.

In the process of construction in cities, we cannot avoid mining activities. Especially our economy, with its prosperous and strong growth in recent years of opening and reformation, and with this the growing need for resources. Although globally, mining is considered an important economic

activity, it has a negative impact on the environment, significantly deteriorating the ecological and aesthetic values of the landscape and not only. Soil and vegetation quality is directly affected by outdoor and indoor mineral extraction activities. Indicators of the ongoing degradation processes in the soil are changes in mechanical composition, structure, sorption capacity, pH, content of water-soluble salts, heavy metals and toxic elements and content of organic substance and nutrients.

Also, the indicators for the ongoing processes are the presence of various diagnostic indicators for:

- *Embankments, formed from geological substrates* (trays from underground mining of minerals and embankments from open yield);
- *Embankments of industrial waste* (generated from waste products from the energy and ore processing industry, chemical production, etc.).
- *Diagnostic indicators – embankments of geological substrates:*
 - an anthropogenic profile composed of geological materials of very high power, undifferentiated or differentiated at the top profile (Fig. 55);
 - large skeletal and small water retention capacity (Fig. 56);
 - intensive erosion processes in unrectivated embankments (Fig. 57);
 - absence or minimal organic matter content,
 - low content of digestible nutrients;
 - possibility of salting;
 - active acidity – ranging from highly acidic (pH 3,6 – 4,1) – Fig. 58 to slightly alkaline (pH 7,6 – 8,1);
 - active oxidation processes and contamination with heavy metals and toxic elements – Cu, Pb, Zn, Cd, As, Mn (Fig. 57);
 - contamination with natural radionuclides (^{238}U ; ^{226}Ra ; ^{232}Th and ^{40}K).



Fig. 55. "Maxim taban", Pernik coal basin - embankment from underground coal mining with initial soil process under the influence of grass vegetation (photo by R. Petrova)



Fig. 56. "Maxim taban", Pernik coal basin - embankment from underground coal mining – surface without vegetation (photo by R. Petrova)



Fig. 57. Erosion processes at the tabs of Radka mine, Panagyurishte copper mines (photo by R. Petrova)



Fig. 58. Oxidation processes at the industrial site of Radka mine, Panagyurishte copper mines (photo by R. Petrova)

Diagnostic indicators - Embankments of industrial waste:

- anthropogenic profile composed of very high power homogeneous material, of varied composition and properties on a case-by-case basis (Fig. 59 and Fig. 60);

Only these embankments of industrial waste, which are subject to biological reclamation – tailing dams and, in rare cases, slag dumps - are attached to this type of technogenic soil.



Fig. 59. Embankment, formed from waste from coal enrichment – "Briquette Factory" – Pernik (photo by R. Petrova)



Fig. 60. Tail, deposited in the processing of copper ore – "Tailing dam Medet" – Pirdop (photo by R. Petrova)

Changes in the chemical composition of anthropogenic soils are associated with depletion of the organic substance and nutrients, the reaction of the soil solution and the course of oxidation processes, migration of heavy metals.

In soils in natural environments, biomass production is in balance with nutrient reserves. The total reserves of organic carbon for the territory of the country are estimated at about 1.3 Gt. The reduction of soil organic matter in arable land, compared to celery lands, is between 10-40% , but in individual cases it can reach more.

One of the main factors for reducing the organic substance is soil erosion, with the manifestation of which occurs the removal of the surface rich in organic substance humus-accumulative horizon, disruption of the balance of nutrients and generally depletion of the soil.

Even more worrying is the state of soils in areas with mineral extraction, where mining work is associated with mechanical disruption of soil genetic horizons, the result of the seizure of the humus horizon and the associated qualitative and quantitative losses (Petrova, 1985), the seizure of fertile soil horizons and their application with sterile or toxic geological layers.

The seizure of humus soil in the development of deposits is associated with quantitative and qualitative losses of organic matter, which depend most on the level of mining equipment used in reclamation works, on the power of the soil layer, its even pressure and its agrochemical properties.

Losses of humus soil are conditioned by:

- discrepancy between the mining mechanisation used and the power of the humus-accumulative horizon. As a result, losses are obtained from incomplete seizure or deterioration of the qualities of the seized humus soil as a result of its application with earth masses from the subhumus (*B*) horizon. The depletion of the humus soil is characteristic of all three stages – seizure, storage and utilization;
- partial seizure of the soil layer – leaving of bran;
- depletion with prolonged storage of humus soil (over 3 years) as a result of the development of erosion processes;
- application of humus soil to aligned but not stabilized embankments in which the drying process has not been completed;
- application of humus soil to toxic substrates;
- depletion when mixing humus soil with earth masses.

With the feeding of humus soil at landfills during mining works affects not only the physical but also the biological and chemical properties of the soil. At a depth of about 1 m in the humus depot, the number of anaerobic bacteria is increasing and aerobic bacteria are decreasing. Within the humus depot, due to poor aeration, nitrification is suppressed, resulting in ammonia accumulation in anaerobic areas. but usually at higher levels than normal and nitrification restarts at higher than normal levels. If there are high levels of ammonia in the reclaimed soil, the amount of nitrates generated is probably much greater than normal. Therefore, there is a high potential for loss of N in the environment by leaching and/or denitrification.

Utilization of humus soil in the reclamation stage of disturbed terrains is also associated with losses of organic matter. Losses are related to the accumulation of humus soil on:

- geological substrates with high water permeability (stone or coarse mechanical composition), resulting in rapid losses of the fine-sized fraction and nutrients together with infiltrating atmospheric waters;
- unstable technically recultivated terrains;
- erosionally hazardous terrains (with a slope above 3°) without anti-erosion events.

By degree of reservity with mineral chemical elements depending on the soil-forming scale, anthropogenic soils are divided into very weak and poorly stocked, medium stocked, well stocked and very well stocked

Conclusion

The result of mineral extraction is that some of the soils in Bulgaria are anthropogenized - degraded and contaminated with heavy metals, persistent organic pollutants, petroleum products, radionuclides, etc., with pollution, acidification, salinization and other degradation processes. The reclamation of disturbed land in mining regions is an important factor in their adaptation to climate change, air pollution control and sustainable development. As a country that has ratified UNFPA, Bulgaria faces the challenge of tackling a number of problems, including the underestimation of the need to combat desertification and its consequences. In addition to the naturally driven deepening of land resource degradation processes (erosion, pollution of water resources, climatic features, including recent trends of periodic drought events), significant socio-economic problems are also identified. We can propose a strategy for sustainable development of systematic design – landscape for ecosystem, economy and culture. Thus, the restoration of nature and the change of landscape can become beneficial for the ecosystem, the local economy, the improvement of people's living standards and the preservation of the culture of mining heritage.

References

1. (Gencheva, Sv., Zheleva E., Delkov, N., Pavlov, D., Milanov, R., Kostova, E., Lazarova, R., Bogdanov, B. Biological Recultivation of Industrial Spoil Dumps for Forestry Needs. Report of NIS. HIF. 1984.)
2. (Donovan, V., Sv. Gencheva, N. Delkov, R. Milanov, E. Zheleva, 1978. Recultivation of Industrial Spoil Dumps, Zemizdat, Sofia.)
3. (Gencheva, Sv., E. Zheleva, N. Delkov, R. Petrova, 1989. Лесобиологическая реультизация техногенных ландшафтов. Международная научная конференция "Мелиорации почв" /International scientific conference "Soil melioration"/, ИАС- Гидротехнический факультет. Sofia, page 71 - 76.)
4. (Forest Management Project of State Forestry Radomir – 2010 г.)
5. (Kostova, S., Ilinkin, V., Petrova, R. Physicochemical Characteristics of Technogenic Soils Formed by Coal Extraction in the Region of Pernik. V National Student Scientific Conference on Management and Sustainable Use of Biological Resources, 29-31.03.2013, Yundola.)
6. (Petrova, R., 1988. Forest-biological Recultivation of Lands.)

7. (Petrova, R. 1988. Requirements for the Recultivation Technical Stage for Restoration of Terrains Disturbed by Coal Mining. In Digest "National Young Researcher Scientific Session on Ecology and Environmental Protection", Plovdiv, page 62-65)
8. (Petrova, R., Sv. Gencheva. 1991, Soil Fertility of Industrial Spoil Dumps of Different Origins in the Pernik Coal Basin. Selsko Stopanstvo Magazine, № 3, 10 - 11.)
9. (Petrova, R., Al. Alexandrov, G. Tsankov, R. Gateva, D. Shipkovenski, P. Petkov. 1994. Condition and Meliorative Effect of Vegetation on Maxim spoil heap - Pernik . Nauka za Gorata, №4, page. 33-39.)
10. (Petrova R. , Anisimova S., Totev L., Pavlov P. Recultivation of Terrains Disturbed by Extraction and Processing of Minerals. University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski" Sofia, 2017.)
11. (Prokopiev Em., 1978. Landscaping of Industrial Areas, Zemizdat - София, 207.)
12. (Prokopiev Em., 1959. Landscaping of Industrial Areas with Smoke Resistant Trees and Shrubbery, Zemizdat - Sofia, 95.)
13. (S. Kostova, K. Petkova., 2017. Pitch Pine Growth on Terrains Disturbed After Mining in the Region of Pernik. Management and Sustainable Development 6/2017 (67).)
14. (Anisimova Svetlana. CITY PARK ON COAL MINE SPOIL DUMP. RESULTS AND PERSPECTIVES OF RECLAMATION. PART II. DENDROLOGICAL)
15. (Filcheva, E., Noustorova, M., Gencheva, Sv. and Haigh, M. J., 2000. Organic accumulation and microbiological action in surface coal-mine spoils, Pernic, Bulgaria. J. Ecological Engineering. ISSN: 0925-8574. 15. (1-2): 1-15.)
16. (Gencheva, S. and Filcheva, E., 1995. Content of Organic Matter in Reclaimed Lands after Open Pit Coal Mining. In: Jubilee Scientific Session 70 Years Forestry Technical Education in Bulgaria. 7-9 April, 1995, Sofia. Vol. 3: 3- 10. (Bg).)
17. (Goushevilov, Z., 1980. Chemical and Physical properties of Materials, which Build the Spoils in Pernik Coal Basin and Their Suitability for Agricultural Reclamation. Soil Science and Agrochemistry. (1): 60-66. (Bg).)
18. (Goushevilov, Z. and Paskaleva, K., 1977. Content of Clay Minerals in Marl Spoils from Pernik Coal Basin and Their Significance for Agricultural Reclamation. Soil Science and Agrochemistry. (6): 14-22. (Bg).)
19. (Lichev, S., Treykyashki, P. and Goushevilov, Z., 1973. Characteristic of Geological Materials, Build Spoils in Pernik Coal Basin. In: V Simposium, Development of Methods for Reclamation of Landscape Destroyed by Industry Activities. 3-10 June, 1973. Burgas – Sunny Beach. Agricultural Academy "G. Dimitrov". N. Poushkarov Institute of Soil Science – Sofia: 371-378. (Ru).)
20. (Petrova, R., G. Popov. 1992. Forest biological recultivation with Pinus sylvestris L. of terrains distribed by opencast mining of coal. In: International conference "40 years of rehabilitation and restoration of mining areas in the North - Bohemian brown coal basin".Most, pp. 93 - 104.)
21. (Petrova, R. 1992. Limiting factors of forest biological recultivation of waste tips that have resulted from coal mining. In: Prosiding Centennial meeting, Berlin- Eberswalde, Germany, pp. 270 - 276.)

ОПТИМИЗАЦИОННИ ПОДХОДИ ПРИ ЕЛЕКТРОННОЛЪЧЕВО ЗАВАРЯВАНЕ, ПОВЪРХНОСТНА МОДИФИКАЦИЯ И ЛИТОГРАФИЯ

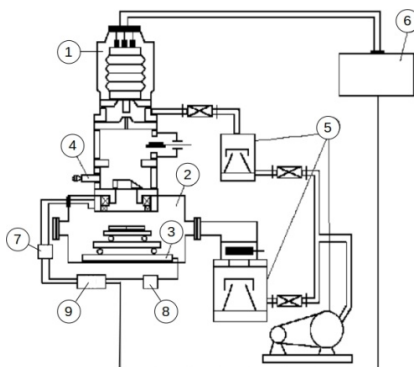
Володя Джаров volodya.dzharov@mgu.bg, Ясен Горбунов y.gorbunov@mgu.bg

ABSTRACT

The electron beam welding, surface modification and lithography (EBWSML) are modern highly efficient and precise methods for improving the quality of the surface layers, surface strengthening, alloying and joining of metal elements. In the present article, optimization approaches for working with EBWSML, various methods for its implementation and applications are considered. Based on conducted experiments, an analysis has been performed in accordance to Taguchi's design of experiment (DOE) method. The model was evaluated for dependence of the studied 0.2% plastic deformation on the parameters of the electron beam modification process, namely the power of the electron beam and the irradiation time.

Въведение

Електронно-лъчевата повърхностна модификация, литография и заваряване (ЕЛПМЛЗ) са съвременни високоефективни и прецизни методи за подобряване на качеството на повърхностните слоеве, повърхностно уякчаване, легиране и съединяване на метални елементи. ЕЛПМЛЗ намира широко приложение в аерокосмическата, автомобилната, отбранителната, полупроводниковата, медицинската, ядрената, петролната, газовата и др. индустрии, в които се поставят високи изисквания за точност при обработка и надеждност на съединенията. Често това е единствена възможност да се обработват точно изработени детайли със сложна форма [1]. Технологията се основава на формирането на високо енергиен сноп от електрони, които се емитират от катод и се ускоряват към анода, след което се насочват под действието на система от електромагнитни лещи за фокусиране и радиално разположени намотки за отклонение на лъча [1] – Фиг.1.

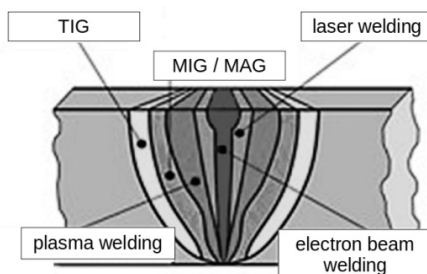


Фиг. 1. Обобщена блокова схема на система за електроннолъчево заваряване

На фигурата са означени: (1) електронна пушка, монтирана в централната част на горната стена на заваръчната камера – чрез нея се генерира, ускорява и фокусира електронният лъч, (2) вакуумна заваръчна камера – мястото, където са разположени заваряваните детайли, (3) система за фиксиране и преместване на заваряваните детайли, (4) оптична система и огледало за наблюдение на процеса, (5) дифузионни помпи за създаване на висок и нисък вакуум, включващи необходимите вакуумни клапани, тръби и манометри, (6) източник на високо напрежение, необходимо за ускоряване на електроните, и източници за нагряване на катода и контрол на големината на тока на лъча, (7) стабилизирани източници на ниско напрежение за електрическо захранване и управление на системите за фокусиране и

отклонение на електронната пушка, (8) управление на манипулатора, извършващ транспортно и технологично движение, (9) управляващо устройство за контрол на целия процес на заваряване и поддържане на операциите на вакуумната система.

За осигуряване на защита срещу окисляване и премахване на газовите молекули електроните се движат във вакуумна среда. При съприкосновение електроните са способни да проникват на голяма дълбочина в метала, губят от скоростта си и трансформират кинетичната енергия в топлинна, която въздейства на материала. Заваряването с електронен лъч е нетрадиционна производствена техника, широко използвана в аерокосмическата и отбранителната промишленост, главно поради тясната зона на топене, генерирана, когато се стопи по-малко метал. Това води до намалено изкривяване на детайла и по-малко количество отделяна топлина за разлика от другите процеси на заваряване, стандартизирани в EN24063 като например заваряване в инертна газова среда (MIG – metal-arc inert gas, EN24063 No131; TIG – tungsten inert gas, EN24063 No141), плазмено заваряване (EN24063 No15), дъгово заваряване на деформиран алуминий и неговите сплави (EN515, EN573-3) и др. Сравнение на различни видове заваръчни технологии е представено на Фиг.2.



Фиг. 2. Геометрия на челно съединение, направено с помощта на различни заваръчни технологии

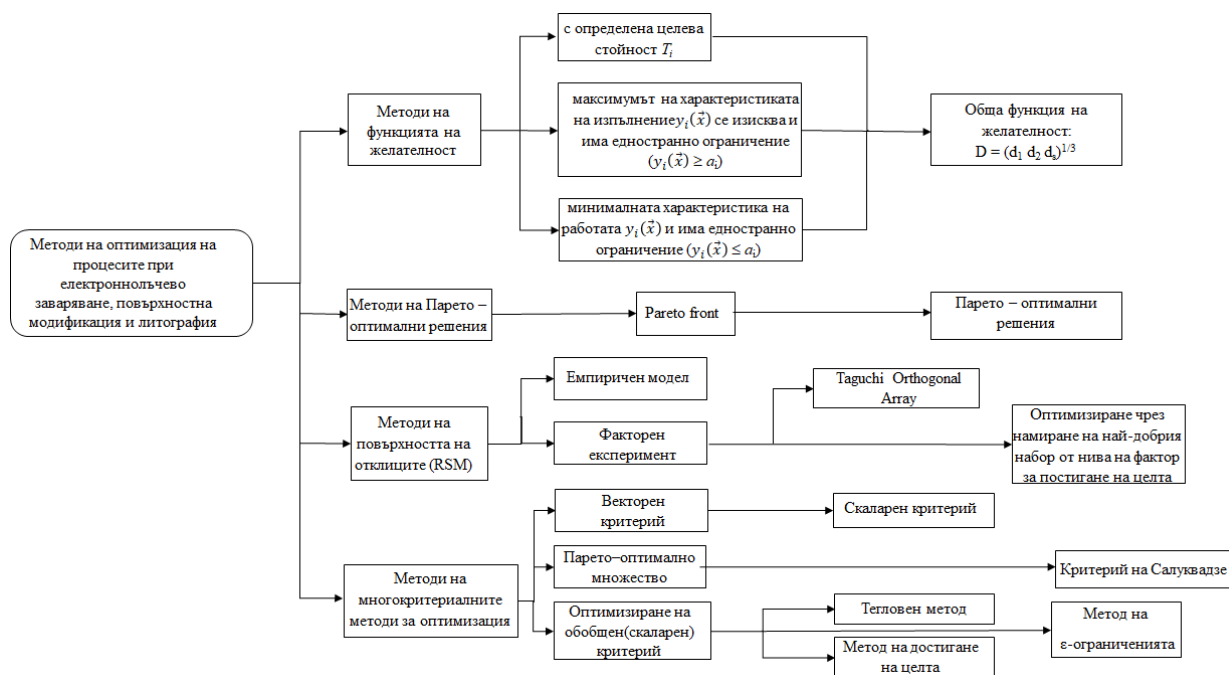
В модерното машиностроене ЕЛПМЛЗ се комбинира с електроннолъчево отлагане на покрития, често с последвало повърхностно сплавяване. По този начин се увеличава значително повърхностната якост и износоустойчивост на машинните части, получават се слоеве с нано-размерни структури. Много от блоковете и функциите на системата за ЕЛПМЛЗ подлежат на автоматизация, имаща за цел намаляване на участието на човека както за увеличаване на ефективността на целия процес, така и за редуциране на вредното влияние върху човешкия организъм, породено от наличието на рентгенови лъчи. ЕЛПМЛЗ е съвременна и перспективна технология, индустриалната необходимост от която има тенденция за нарастване.

Оптимизационни подходи при ЕЛПМЛЗ

Оптимизацията е целенасочена дейност за получаване на най - добър резултат в определен смисъл и при определени условия. Целта за оптимизиране на процесите, осъществявани при ЕЛПМЛЗ е изследване на множество от фактори и взаимодействия, които влияят на качеството на обработка на детайла, а също прогнозиране и оптимизиране на геометрията на обработваните материали. Основен инструмент е използването на регресионен анализ, свързан с намирането на количествена връзка между входните и изходните променливи. Провежда се също и статистически анализ на получения модел, който има за цел определяне на адекватността му при предсказване на дадена изходна величина, като смущенията в процеса лесно се определят чрез регистриране на изходния процес, когато сигналът е постоянен. Регресионните модели, представящи функционалната връзка между механичните свойства на облъчените проби и параметрите на процеса на електронния лъч - силата на

електронния лъч и времето на облъчване се използват за многокритериална оптимизация с цел максимално увеличаване на всички изследвани механични свойства [2]. Допълнителното изискване за робастност по отношение на промените във входните параметри и шумовите фактори на процеса определят задачата за оптимизация за едновременно минимизиране на всички дисперсии на качествените характеристики, заедно с прилагането на изискванията за икономическа ефективност.

Без претенции за изчерпателност, на Фиг. 3 са представени различни методи за намирането на оптимални стойности на управляемите фактори, които могат да бъдат приложени при оптимизирането на процесите при ЕЛПМЛЗ.



Фиг. 3. Методи за оптимизация на процесите при ЕЛПМЛЗ

Методът на функцията на желателност представлява метод за многокритериална оптимизация, който позволява сравнение на различни скали на мерките за качество чрез представянето на стойностите им в областта $[0, 1]$. Методът дава възможност за определяне на оптимални нива на фактори, влияещи върху процеса, като се оптимизират всички конкуриращи се мерки за качество едновременно [3]. Този подход е използван в [4] за оптимизиране на геометрията при електроннолъчево заваряване на неръждаема стомана тип 1Н18НТ при дадени изисквания за дълбочина и ширина на заварената зона. Оптимизиране на цинкова галванопластика на стоманени винтове с помощта на метода за многокритериална оптимизация с функция на желателност е представено в [5]. В [6] е предложен интерактивен стъпков метод, а в [7] използването на изкуствени невронни мрежи.

Парето-оптимални решения могат да бъдат получени в случаите на едновременно минимизиране и/или максимизиране на няколко качествени характеристики. Свойство на тези решения е, че ако те се сравнят две по две, някои получени стойности на оптималните изходни характеристики ще бъдат по-добри, но поне една от тях ще бъде по-лоша от тази в друго компромисно решение. Допълнителното изискване за робастност по отношение на промените във входните параметри и шумовите фактори на процеса определя задачата за оптимизация за едновременно минимизиране на всички дисперсии на качествените характеристики, заедно с прилагането на изискванията за икономическа ефективност.

Подходът е приложен в [10] за едновременно получаване на минимални материални загуби и максимален обем на стопената вана при електроннолъчево топене на Тантал.

Методът на повърхността на реакцията (RSM) е ефективна статистическа техника за изследване на сложни процеси, при които много фактори и взаимодействия влияят на изследваните изходни характеристики. RSM представлява набор от математически и статистически техники за изграждане на емпирични модели. Експериментът се състои в поредица от тестове, наречени серии, в които се правят промени във входните променливи, за да се идентифицират причините за промените в изходната реакция. По време на всеки експеримент входните данни (факторите), влияещи върху избора на стойност, променят резултата по различен начин за разлика от комбинацията от всички фактори. Важен е изборът на влияещите фактори в такава комбинация, че ефектът от всички фактори да бъде еднакво оправдан в резултата. Такава техника предлага методът на ортогоналния масив на Тагучи, при който малък набор от всички възможности е избран за намаляване на броя на експериментите до практическо ниво [14]. RSM се прилага в множество експериментални изследвания за прогнозиране и оптимизиране на геометрията на заваръчните мъниста при електронно лъчево заваряване. В [4] методът е приложен за неръждаема стомана тип 1H18NT, а в [12] за стомана AISI 304. Повърхностната грапавост на Ti-6Al-4V произведена чрез електроннолъчево топене, като функция от настройките на параметрите на процеса и дебелината на получените образци е изследвана в [13].

Методът на многокритериална оптимизация (многоцелно програмиране, векторна оптимизация) е свързан с математически задачи с участието на повече функции, които да бъдат оптимизирани едновременно. При този метод трябва да се вземат оптимални решения в присъствието на компромиси между две или повече противоречиви цели.

Експериментална работа и анализ на резултатите

В настоящата работа е изследвана 0,2% пластична деформация чрез представянето на 2 фактора като входни променливи на инсталацията за електроннолъчево заваряване: фактор 1 – време на облъчване и фактор 2 – мощност на електронния лъч. За отчитане на влиянието на ефекта от тези два фактора, всеки от които има стойности от 3 нива. L18 ($6^1 3^1$) в ортогоналния масив на Тагучи се предполага, че няма взаимодействие между два фактора, които влияят на критериите за ефективност. В Таблица 1 са представени експерименталните данни, влияещи на механичните свойства на стомана SS316L [5].

Таблица 1. Експериментални данни

№	фактор А – Време [s]	фактор В – мощност [kW]	0,2% пластична деформация[R _{0.2}]
1	1	0,6	264
2	1	0,75	254
3	1	0,9	256
4	6	0,6	264
5	6	0,75	262
6	6	0,9	230
7	12	0,6	1
8	12	0,75	1
9	12	0,9	246
10	15	0,6	266
11	15	0,75	243

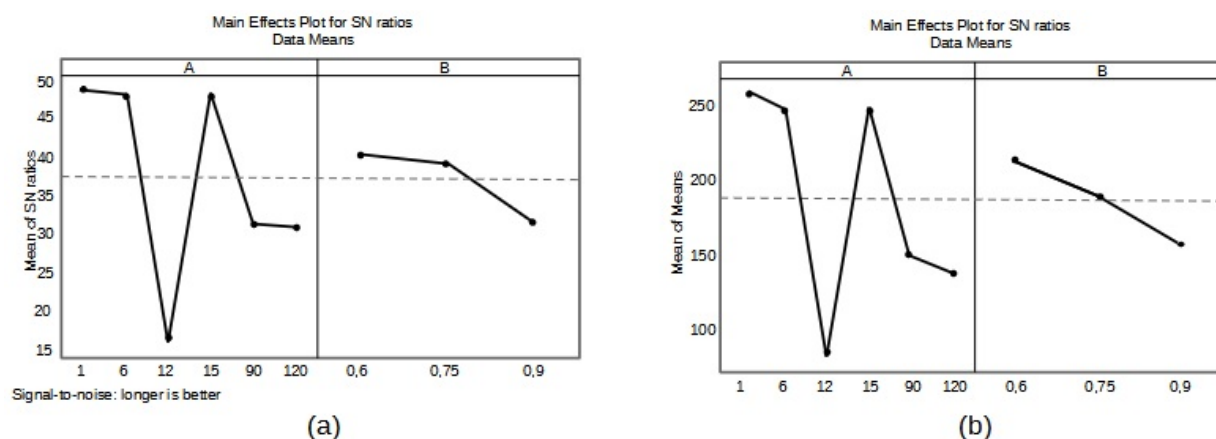
12	15	0,9	204
13	90	0,6	260
14	90	0,75	187
15	90	0,9	1
16	120	0,6	224
17	120	0,75	187
18	120	0,9	1

Чрез анализ по метода на Тагучи са получени данни за съотношението на сигнал/шум и средните стойности на времето и мощността в отношение на пластичната деформация – Таблица 2.

Таблица 2. Съотношение сигнал/шум и средни стойности

Ниво	сигнал/шум		средни стойности	
	A	B	A	B
1	48.23	40.11	258.00	213.17
2	48.01	39.17	252.00	189.00
3	15.94	31.57	82.67	156.33
4	47.47		237.67	
5	31.25		149.33	
6	30.81		137.33	
Delta	32.29	8.54	175.33	56.83
Rank	1	2	1	2

На Фиг. 4 са представени съотношението сигнал/шум (а) и средните стойности (b) на времето и мощността на лъча спрямо пластичната деформация на облъчените пластини.



Фиг. 4. Съотношение сигнал/шум (а) и средни стойности (b)

По метода на Тагучи за проектиране на експеримента (DOE – design of experiment) са пресметнати регресионните уравнения за факторите А (1) и В (2):

- (1) $A = 68.1 - 0.147 R_{0,2}$
- (2) $B = 0.8010 - 0.000274 R_{0,2}$

В Таблица 4 са представени коефициентите за времето на облъчване и мощността на електронният лъч в зависимост от пластичната деформация участващи в регресионните уравнения

Таблица 4. Коефициенти за времето на облъчване и мощността на електронния лъч

		Коеф.	SE коеф.	Т-стойност	Р- стойност	VIF
за времето на облъчване	Константа	68.1	22.9	2.97	0.009	
	R _{0.2}	-0.147	0.108	-1.36	0.191	1.00
за мощността на лъча	Константа	0.8010	0.0621	12.90	0.000	
	R _{0.2}	-0.000274	0.000293	-0.94	0.363	1.00

В Таблица 5 са представени данните от дисперсионния анализ за времето на облъчване на пробите и мощността на електронният лъч.

Таблица 5. Дисперсия на времето на облъчване и електронния лъч

		DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
за времето на облъчване	Регресия	1	4058	4058	1.86	0.191
	R _{0.2}	1	4058	4058	1.86	0.191
	Грешка	16	34892	2181		
	Несъответствие	11	25330	2303	1.20	0.446
	Абсолютна грешка	5	9562	1912		
	Общо	17	38950			
за мощността на лъча	Регресия	1	0.01401	0.01401	0.88	0.363
	R _{0.2}	1	0.01401	0.01401	0.88	0.363
	Грешка	16	0.25599	0.01600		
	Несъответствие	11	0.19412	0.01765	1.43	0.366
	Абсолютна грешка	5	0.06187	0.01238		
	Общо	17	0.27000			

Изчислените регресионни модели дават връзката между механичните свойства на облъчените проби, мощността на електронния лъч и времето на облъчване. За да бъде направена оптимизация на желано механично свойство според избора на параметрите на процеса на модифициране на повърхността и конкретното приложение на материала, зависимостите следва да бъдат моделирани. На база регресионните уравнения е извършен дисперсионен анализ, за да се оцени модела за зависимостта на изследваната пластична деформация от параметрите на процеса на модификация на електронния лъч: мощността на електронния лъч и времето на облъчване.

Заклучение

Настоящата работа представя експериментални резултати и кратък анализ за облъчване с електронен лъч на проби от аустенитна неръждаема стомана 316L с дебелина 0,5 mm с различна мощност на лъча (фактор 1) и различна продължителност на облъчване (фактор 2). Изследвана е 0,2% пластична деформация чрез представяне на двата фактора като входни

променливи на инсталацията за електроннолъчево заваряване. Приложен е методът на Тагучи за проектиране на експеримента чрез използване на ортогонален масив. Методът на Тагучи може да бъде използван и за изследване на други механични свойства на материали, което е предмет на бъдеща работа.

Използвана литература

- [1.] E. Koleva, G. Mladenov, "Experience on electron beam welding", Practical Aspects and Applications of Electron Beam Irradiation, Ch. 4, Transworld Research Network, pp. 95-133, ISBN 978-81-7895-541-4, 2011
- [2.] V. Dzharov, E. Koleva, V. Vassileva, R. Yordanova, S. Yankova, "Modelling of the mechanical properties of steel 316L after EB treatment", 13th Int. Conf. on Electron Beam Technologies – EBT2018, Varna, Bulgaria, Journal of Physics: Conference Series, 1089 (1), 012004, doi:10.1088/1742-6596/1089/1/012004, ISSN 1742-6588, 2018
- [3.] H. Trautmann, C. Weihs, „On the distribution of the desirability index using Harrington’s desirability function“, Metrika (2006) 63: 207–213 DOI 10.1007/s00184-005-0012-0, Received: 31 October 2003 / Accepted: 9 November 2004 / Published online: 28 October 2005 © Springer-Verlag 2005
- [4.] E. Koleva, "Statistical modelling and computer programs for optimization of the electron beam welding of stainless steel", Institute of Electronics, Bulgarian Academy of Sciences, Bulgaria, Vacuum Vol. 62, pp. 151-157, 2001
- [5.] R. Lorza, M. Calvo, C. Labari, P. Fuente, "Using the multi-response method with desirability functions to optimize the zinc electroplating of steel screws", Metals Vol. 8, 2018
- [6.] J. Jeong, K. Kim, K. Park, "An interactive desirability function method to multiresponse optimization", Int. J. of Reliability, Quality and Safety Eng., Vol. 10, pp. 205-217, 2003
- [7.] R. Noorossana, S. Tajbaksh, A. Saghaei, "An artificial neural network approach to multiple-response optimization", Int. J. of Adv. Manuf. Technologies, Vol. 40, pp. 1227–1238, 2009
- [8.] F. Phoa, H. Chen, "Desirability function approach on the optimization of multiple Bernoulli-distributed responses", Proceedings of the 2nd International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods, pp. 127-131, 2013
- [9.] E. Harrington, "The desirability function", Ind. Quality Control, Vol. 4, pp. 494–498, 1965
- [10.] K. Vutova, V. Vassileva, E. Koleva, N. Munirathnam, D. Amalnerkar, T. Tanaka, "Investigation of Tantalum Recycling by Electron Beam Melting", Metals, Vol. 6(11), 2016
- [11.] I. Vuchkov, L. Boyadjieva, "Quality improvement with design of experiments: a response surface approach", Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 2001
- [12.] A. Siddaiah, B. Singh, P. Mastanaiah, "Prediction and optimization of weld bead geometry for electron beam welding of AISI 304 stainless steel", Int J. Adv Manuf Technol, 89, 2017
- [13.] A. Safdar, H. He, L. Wei, A. Snis, L. Chavez de Paz, "Effect of process parameters settings and thickness on surface roughness of EBM produced Ti-6Al-4V", Rapid Prototyping Journal, Vol. 18(5), pp. 401-408, 2012
- [14.] R. Roy, "Design of Experiments Using The Taguchi Approach: 16 Steps to Product and Process Improvement", Wiley-Interscience, ISBN 978-0471361015, 2001

**ИНТЕЛИГЕНТНИ СИСТЕМИ И ТЕХНОЛОГИИ С ИМПУЛСЕН ТОК
С КОМПЮТЪРНО УПРАВЛЕНИЕ ЗА ЕЛЕКТРОЕКСТРАКЦИЯ
И ЕЛЕКТРОРАФИНАЦИЯ НА МЕТАЛИ ОТ ЕЛЕКТРОЛИТНИ РАЗТВОРИ
И ПОЛУПРОДУКТИ ОТ ОЛОВНИ ОТПАДЪЦИ**

**Стоян Гишин, Иван Енчев, Владимир Димитров
Електротех ООД, electrotech@abv.bg**

ABSTRACT

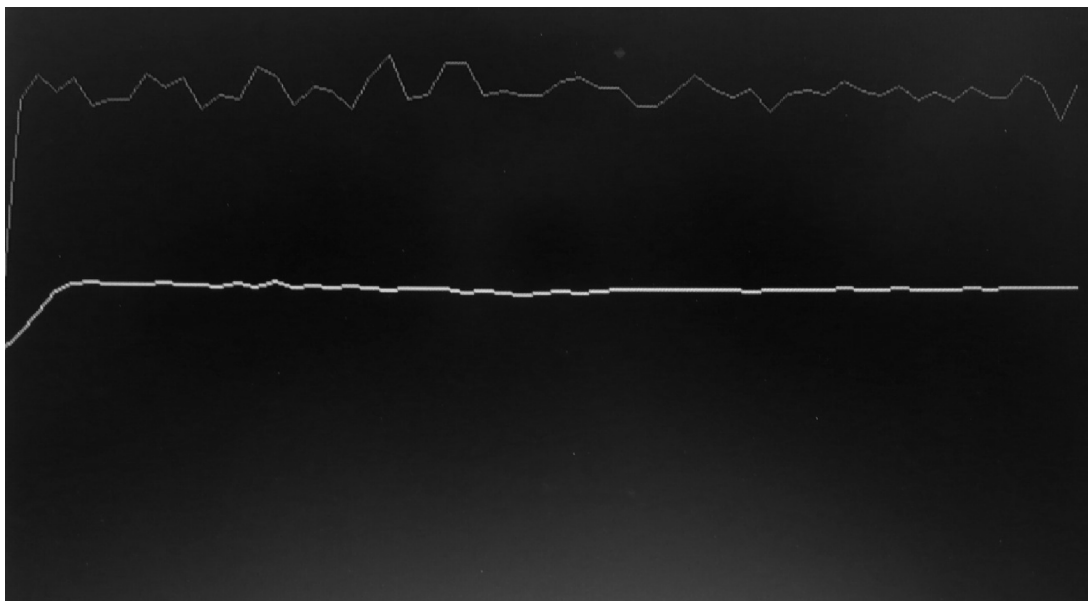
Разработени са интелигентни системи и електротехнологии с импулсен ток компютърно управление за рециклиране на ценни метали Ag, Cu, Sb, Bi, Au, Pb и други от оловни отпадъци, бракувани оловни акумулатори, възобновяеми енергийни източници и други. ИС с РС управление, електро-технологията за рециклиране на металите от бракувани акумулатори с импулсен ток с РС управление са тествани от Монбат Русайклинг АД, град Монтана, технологията е демонстрирана в съответна среда TRL6 а прототипа на ИС е демонстран в оперативна среда TRL7. Разработените иновативни процеси и продукти са защитени с патенти и полезни модели в България и Германия. Електротехнологията за рециклиране на ценни метали е енергийно ефективна и намалява многократно отделянето на киселинни и алкални аерозоли, които замърсяват околната среда и реализира огромна принадлежна стойност.

Key words: *Интелигентни системи за импулсен ток, електротехнологии с импулсен ток, компютърно управление, рециклиране на ценни метал, голяма принадлежна стойност.*

Хидрометалургичните, енергийните и екологичните проблеми при електроекстракция на ценни метали, както и при рециклиране на метали от бедни електролитни разтвори и полупродукти от оловни отпадъци - бракувани акумулатори, сребърна пяна, бисмутово олово, меден кекс и други от оловно производство са огромни в целия свят и по тях се работи в развитите индустриални държави.

Основните недостатъци и проблеми на нивото на техниката при индустриалните електрохимични технологии с и без противо е.д.н. при производство и експлоатация на различните акумулатори и батерии, както и при електроекстракция на метали от електролитни разтвори и от оловни отпадъци, бракувани акумулатори и батерии, антимоново олово, сребърна пяна, бисмутово олово, ВЕИ и други, които използват постоянен ток, периодично променящ поляриността си, асиметричен ток и други разновидности, известни от публикациите и патентите в тази област в света, че процесите не са енергийно и екологично ефективни по отношение на използвания ток, електрическото напрежение и активното вътрешно съпротивление на електрохимичната система по време на процесите.

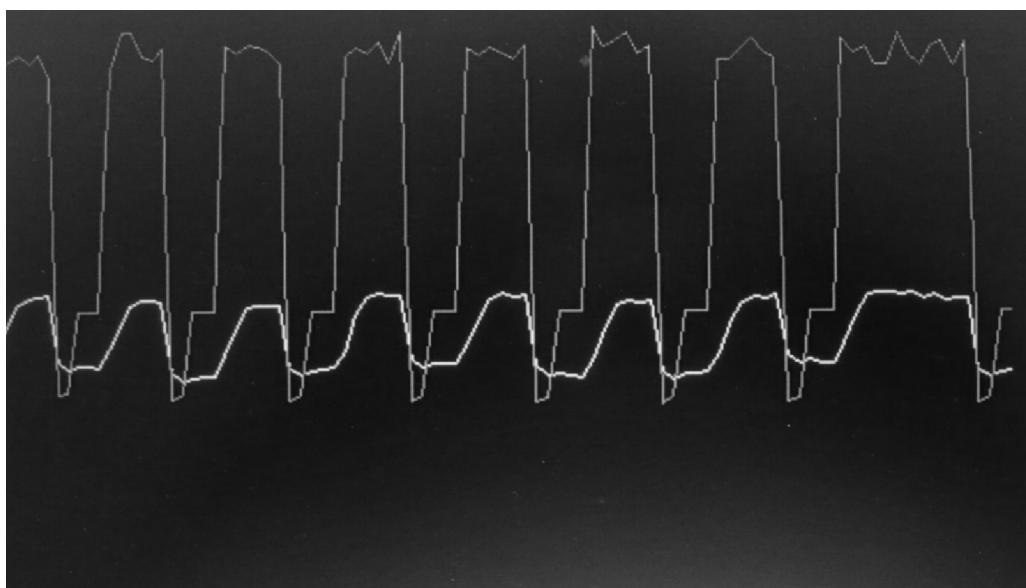
Всичко това води до голям разход на електроенергия за нежелани електрохимични процеси (електролиза) и съответно отделяне на киселинни и алкални аерозоли, които замърсяват околната среда - въздух, вода, земя и съответно влошаване качеството на продуктите. Това се вижда на фиг. 1 при процеси без противо е.д.н. при рециклиране на ценните метали Ag, Cu, Sb, Bi, Au, Pb и други от отпадъци, на бракувани оловни акумулатори, ВЕИ (възобновяеми енергийни източници) и други .



Фиг.1

Основен недостатък на устройствата и електро технологиите при електрохимичните индустриални технологии е, че не отговарят на издадената през 2020 година РЕГЛАМЕНТ НА ЕВРОПЕЙСКИЯ ПАРЛАМЕНТ И НА СЪВЕТА относно батериите и отпадъчните батерии, за отмяна на Директива 2006/66/ЕО и за изменение на Регламент (ЕС) 2019/1020 (текст от значение за ЕИП) {SEC(2020) 420 final} - {SWD(2020) 334 final} - {SWD(2020) 335 final}.

Основни предимствата на иновационните решения (1-5) са, че процесите при индустриалните електро-технологии за рециклиране на метали от оловни отпадъци от бракувани акумулатори, ВЕИ и други, се извършват енергийно и екологично ефективно, при оптимални условия от интелигентните системи за импулсен ток с компютърно управление на продължителността на токовите импулси в зависимост от динамичното състояние на процесите, независимо от стойностите на зададените положителни токови импулси - Фиг.2.



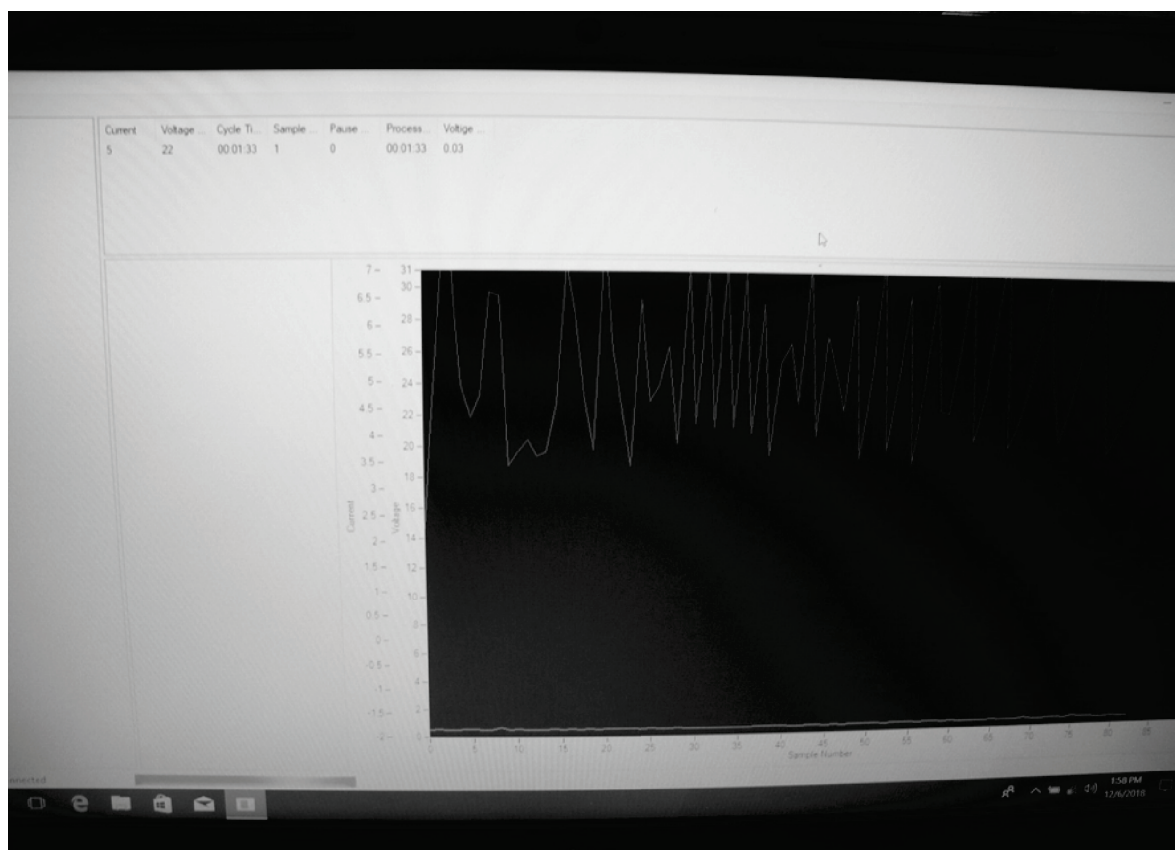
Фиг.2



Фиг.3

ПРЕДИМСТВА НА ЕЛЕКТРО-ТЕХНОЛОГИИТЕ С ИС С РС УПРАВЛЕНИЕ:

1. Подобряване на екологията - намаляване загубите от вредна електролиза и икономия на електроенергия над 15 %, и други. На фиг.4 с импулсен ток е показана различната продължителност на токовите импулси в зависимост от динамичното състояние на процеса, което се управлява от специализираната софтуерна програма чрез РС.
2. Методите, критериите, технологиите и ИС са защитени с патенти за изобретения, свидетелства за полезни модели, ноу хау в България и Германия.
3. Електро-технологията с използване на импулсен ток с РС управление, позволява енергийно ефективно рециклирането на благородни и скъпоценни метали Ag, Cu, Sb, Bi, Au, Pb и други от отпадъци, сребърна пяна и други с чистота 98-99%, при високи екологични изисквания, понеже се извършват при ниски стойности на електрическото напрежение, което е показано от разпечатките 3-5 на РС - по време на процесите.
4. ИС с РС управление, електро-технологията за рециклиране на металите от бракувани акумулатори с импулсен ток с РС управление са тествани от Монбат Рисайклинг АД, град Монтана, технологията, демонстрирана в съответна среда (TRL6) и демонстрация на прототипа на ИС в оперативна среда (TRL7).



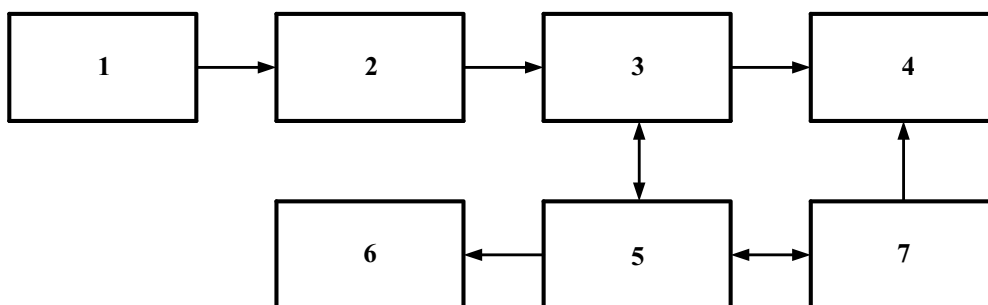
Фиг.4

При отработените оловни акумулатори, схемата е хидрометалургична, без високи температури и вредни газови емисии, при запазване на околната среда.

Необходимите инвестиции за реализация на технологиите са съобразени със съвременните изисквания и оптимални нормативи за срочно изплащане на вложените средства за инженеринг, материали, работна сила и интелектуален продукт и собственост, свързани с нашето ноу хау и патентна чистота.

С иновативните продукти и процеси се реализира енергийна и екологична ефективност на електрохимичните процеси, подобряване качеството на стоката и голяма добавена стойност за икономиката.

Блоковата схема на интелигентните системи за импулсен ток с инсталирани на РС специализирани софтуерни програми за различните електрохимични процеси без противо-електродвижещо напрежение са дадени на Фиг.5.



Фиг.5

където:

1. Неуправляем токо-исправител
2. Филтър
3. Постоянно-токов преобразовател за положителни токови импулси
4. Електрохимична клетка
5. Постоянно-токов преобразовател за отрицателни токови импулси
6. Персонален компютър
7. Информационен блок

Иновационните продукти, електро-технологии и услуги са разработени по Оперативна програма „ИНОВАЦИИ И КОКУРЕНТНОСПОСОБНОСТ” на ЕС, с подкрепата на Министерство на Икономиката на Република България.

Разработените иновативни методи, методики, технологии и електро-технологии, интелигентни системи за импулсен ток с РС управление, критерии и специализирани софтуерни програми за управление, контрол, автоматично определяне стойностите и времетраенето на токовете импулси и регистрация на нестационарните електрохимични процеси, при рециклиране на метали се предлагат като: патенти, полезни модели, ноу хау, съвместна реализация, лицензии, лицензионни договори и други, съгласно нормативните документи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гишин С. С., Електрохимични процеси с импулсет ток с компютърно управление, Технически университет, София, 2012.
2. Гишин С. С., Метод за електроекстракция на метали от оловни отпадъци, Заявка за патент ретение № 112879/13.02.2019г. ПВ, България
3. Гишин С. С, Устройство за електроекстракция на метали от оловни отпадъци, Свидетелство за полезен модел., BG 3181/20.02.2019г.
4. Гишин С. С., Метод за електроекстракция на метали от оловни отпадъци, Патент за изобретение № DE102019 002 503.2, от 04.04.2019г., Германия
5. Гишин С. С., Устройство за електроекстракция на метали от оловни отпадъци, Свидетелство за полезен модел № DE202019001561.2 от 09.04.2019г., Германия

**ИНТЕЛИГЕНТНИ СИСТЕМИ И ТЕХНОЛОГИИ С ИМПУЛСЕН ТОК
И КОМПЮТЪРНО УПРАВЛЕНИЕ ЗА ИНДУСТРИАЛНО ПРОИЗВОДСТВО,
СЪХРАНЕНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЯ ОТ РАЗЛИЧНИ
ВЪЗОБНОВЯЕМИ ЕНЕРГИЙНИ ИЗТОЧНИЦИ**

**Д-р Стоян Гишин, Д-р Владимир Димитров
Електротех ООД, electrotech@abv.bg**

ABSTRACT

Intelligent systems (IS) and technologies have been developed for the production and storage of electricity from renewable energy sources with accumulator batteries with pulsed current with PC control. Innovative products and processes are protected by patents, utility models, know-how and are energy and ecologically efficient with high added value.

Key words: *intelligent pulsed current systems, pulsed current electro-technologies, computer control, recycling of precious metals.*

През последните 4 години са получени 7 броя патенти, полезни модели и ноу хау и се подготвят проекти по ОПИК "Иновации и конкурентоспособност" за периода 2021-2027г., за разработените Интелигентни системи за импулсен ток с РС управление и технологии за индустриални производства за квалифицирана оценка TRL8 и получаване на Европейски сертификат TRL9 - конкурентно производство, за продаване и внедряване в България, ЕС, Азия, САЩ и други, а именно:

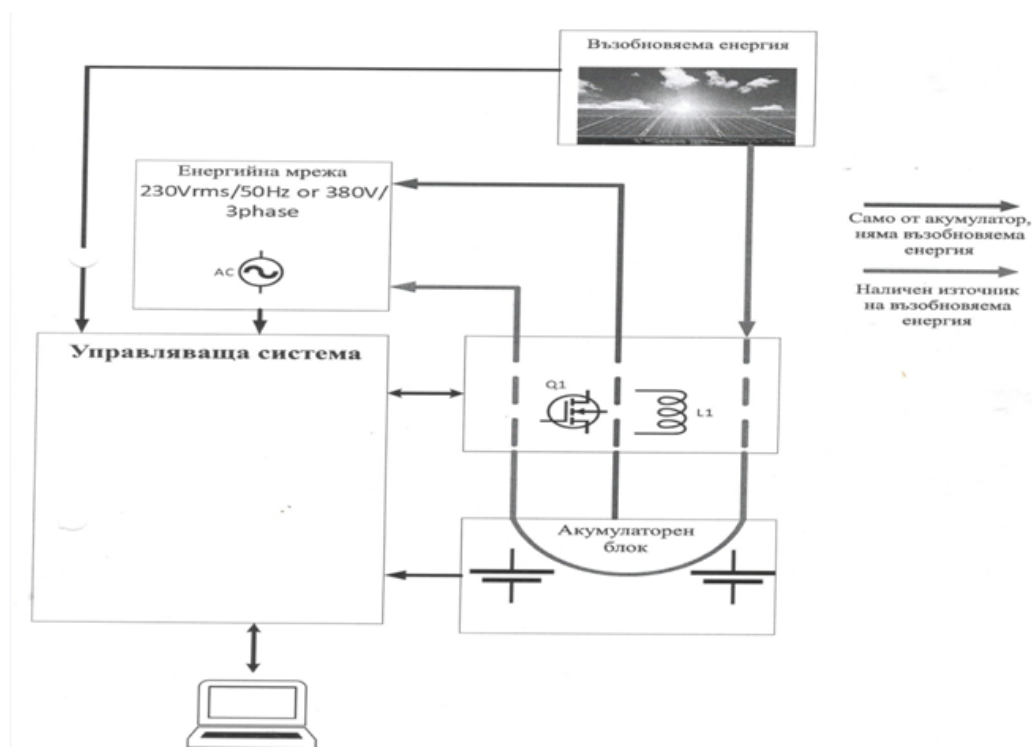
1. Производство, съхранение и реализация на електроенергия от различни ВЕИ.
2. Производство, приложения и тестване на различни акумулатори и батерии, заряд, непрекъснато автоматично тестване, възстановяване на електрическите характеристики, удължаване на експлоатационния живот и други при производството, съхранението и реализацията на електроенергия от различни ВЕИ.

През последните години за подобряване на енергийната и екологична ефективност на методите и системите за производство, съхранение и непрекъснато приложения на електроенергия от ВЕИ за различни граждански и индустриални приложения, се работи изключително много в развитите индустриални държави от Европа, Азия, САЩ и други. Съхранението на енергията се превърна в основен компонент в системите за възобновяема енергия, особено тези при използване на акумулаторните батерии. Въпреки това, по време на зареждането и процеса на разреждане, има някои параметри, които не се контролират от потребителя. Тази неконтролирана работа води до стареене на батериите и намаляване на техния жизнен цикъл. Поради това причинява ранна подмяна. Разработени са различни методи за управление с цел защита на батерията и удължаване на продължителността на живота ѝ, като най-често използваните постоянен ток, постоянно напрежение и други техни разновидности.

Съхранението на енергия е от най-големите предизвикателства за системите за ВЕИ, особено в самостоятелни слънчеви фотоволтаични системи и вятърни паркове, където прилагането на електро-химично съхранение на енергия показва високи времена на реакция и ефективност на двупосочно пътуване. Освен това, от икономична гледна точка, в слънчева фотоволтаична система - системата за съхранение на енергия представлява 35-40% от общите разходи. Технологиите за съхранение обикновено се категоризират въз основа на времеви мащаб на приложения като моментални (по-малко от няколко секунди), краткосрочни (по-малко от няколко минути), средносрочни (по-малко от няколко часа) и дългосрочни (дни). Освен това съществуват различни видове технологии за съхранение на енергия: съхранение

на енергия от сгъстен въздух, съхранение на енергия на маховици, система за съхранение на енергия, базирана на водород, АБ за съхранение на енергия, със съхранение на магнитна енергия и супер кондензатори за съхранение на енергия.

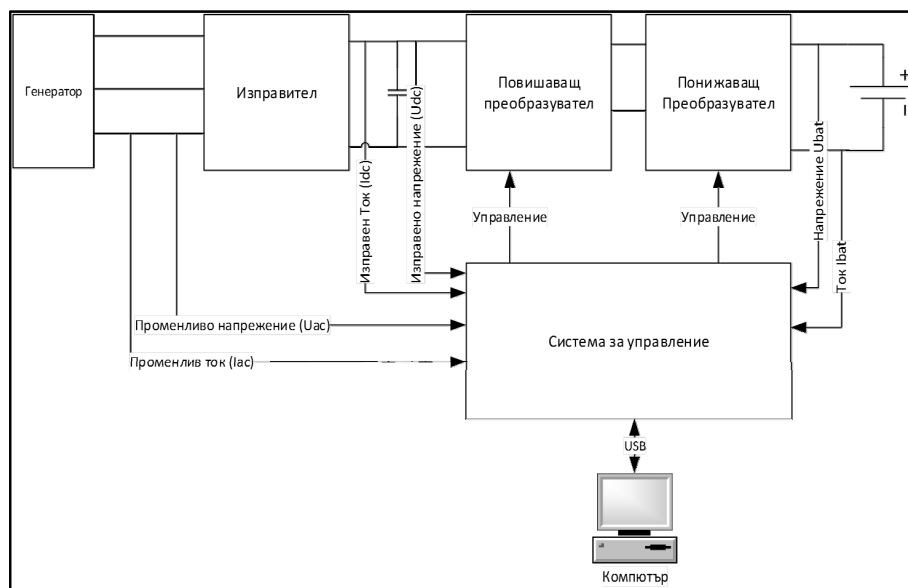
Поради неговата локализация гъвкавост, ефективност, екологичност, неограничено количество от ВЕИ и други характеристики на АБ е предпочитаната технология и системи за съхранение на енергия. Съществуват множество търговски АБ, използвани в системи от ВЕИ: оловно-киселинна, литиево-йонна, никел-кадмиева, натриево-сярна и други. Във фотоволтаични системи оловната АБ е най-използваната технология поради ниската си цена, зрялост, висока надеждност, бърза реакция и ниска степен на само разряд. Процесът на зареждане обаче е нелинеен, енергийно неефективен, замърсява околната среда с киселинни аерозоли и други. Поради високите икономически разходи, генерирани от подмяната на АБ, се изисква метод за контрол на зареждането, за да се предпази батерията от презареждане. Ефективността на методите за контрол на зареждането зависят от тока, използван за зареждане, трептенията в зареждащия ток, напрежението, времето за зареждане системата за по време на процеса на електроенергия от ВЕИ е показана на Фиг.1.



Фиг.1

1. Източник на възобновяема енергия
2. L1 Инвертор
- 3.Q1 Интелигентна токоизправителна система
4. Акумулаторен блок
5. Енергийна мрежа 230 Vrms (50 Hz or 380 V) 3 phase
6. Управляващ блок
7. Персонален компютър PC, с инсталирани специализирани софтуерни програми

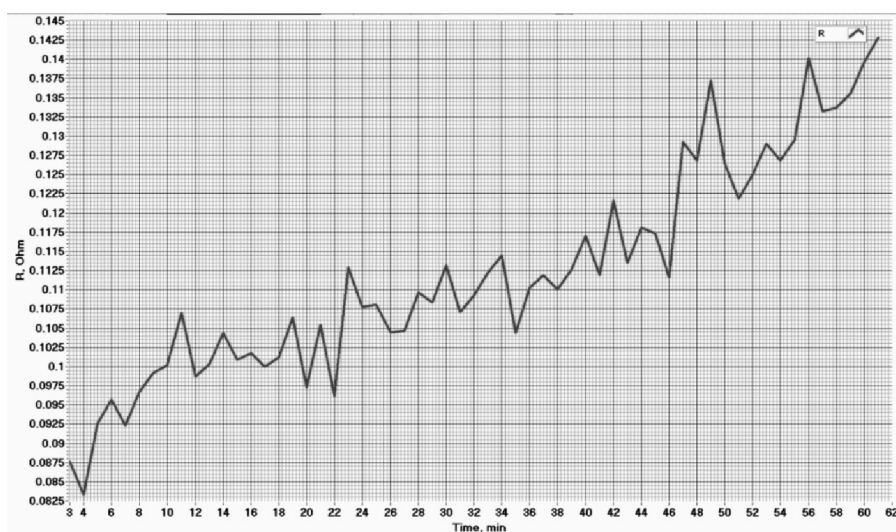
Блоковата схема на Интелигентната система за импулсен ток с PC управление за заряд на Акумулаторния блок от Фиг. 1 е показана на Фиг.2.



Фиг. 2

1. Изправител
2. Повишаващ преобразувател
3. Понижаващ преобразувател
4. Блок за управление чрез специализирана софтуерна програма, инсталирана на РС

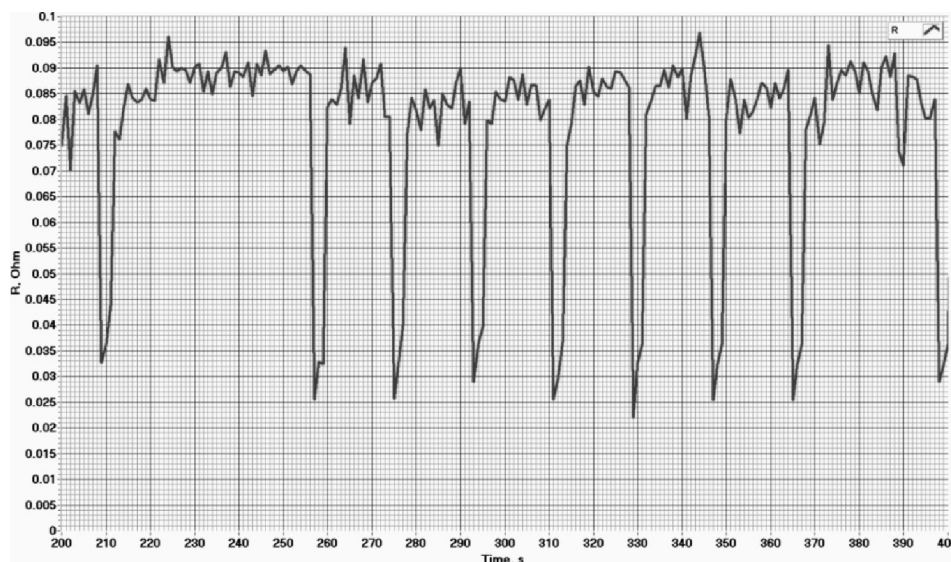
Основните недостатъци и проблеми на нивото на техниката при индустриалните технологии при производство и експлоатация на различните АБ, при производство и съхранение на електроенергия от ВЕИ и други, които използват постоянен ток, периодично променящ полярността си, асиметричен ток и други разновидности, известни от публикациите и патентите в тази област в света, че процесите не са енергийно и екологично ефективни по време на процесите. Това е показано на Фиг. 3, при производство и експлоатация на АБ.



Фиг.3

Основни предимствата на иновационните ИС и технологии (1-5) са, че се извършват енергийно и екологично ефективно, при оптимални условия:

1. При по-голямо производство от необходимата за приложение се реализира част от електроенергията от ВЕИ, а останалата част се съхранява в АБ.
 2. При съхраняване на електроенергията от ВЕИ в АБ се използват интелигентни системи за импулсен ток с РС управление и регистрация на всички параметрите.
 3. При използване на ИС за импулсен ток с РС управление и регистрация се реализират енергийно и екологични технологии - Фиг.2 , което гарантира:
 - 15-20 % икономия електроенергия от ВЕИ
 - по-малко загуба на вода от обслужваеми и необслужваеми АБ, при които се отделят киселинни и алкални аерозоли и замърсяват околната среда и влошават динамичното състояние на процесите и преразход на електроенергия
 - подобряване на електрическите характеристики на АБ при заряд с над 5%
 - удължаване на експлоатационния живот в цикли на АБ, над 15%
 4. Когато няма производство на електроенергия от ВЕИ, консуматорите се захранват от съхранената енергия от ВЕИ
 5. При излишък от ВЕИ се продава на електрическата преносна система
 6. За съхранение ще се използват моно блокове от 6 и 12V, изработени по AGM технологията или с панцерни положителни плочи, редовно производство в България, с патентно защитената електро-технология с импулсен ток с компютърно управление, които имат:
 - най-ниска цена
 - най-продължителен експлоатационен живот- над 35%
 - след дългия експлоатационен живот, на бракуваните батерии се рециклират металите за повторна употреба по разработената и патентно защитена технология с импулсен ток с РС управление и се произвеждат нови АБ
- С иновативните продукти и процеси се реализира енергийна и екологична ефективност на електрохимичните процеси, подобряване качеството на стоката, увеличаване на експлоатационния живот на АБ, многократно подобряване на екологията на околната среда и много голяма принадена стойност за икономиката.



Фиг.4

Разработените иновативни методи, методики, технологии и електро-технологии, ИС за ИТ с РС, критерии и специализирани софтуерни програми за управление, контрол, автоматично определяне стойностите и времетраенето на токовите импулси и регистрация на параметрите на електро-химичните процеси, при АБ, ВЕИ и рециклиране на метали и други се предлагат

като: патенти, полезни модели, ноу хау, съвместна реализация, лицензии, лицензионни договори и други, съгласно нормативните документи.

На 8 декември 2021г. д-р Стоян Гишин е награден от Председателя на Патентното ведомство проф.Б.Борисова за получени патенти и полезни модели за Изобретател на годината. Също е награден от Президента на Република България - Румен Радев с вписване в Златната книга на Българските изобретатели. До сега д-р Гишин е получил голям брой референции, покани за съвместна работа и публикации, подписани лицензионни договори от България и чужбина, като някои вече са изпълнени.

По енергийни и екологично ефективни технологии с голяма принадлежна стойност от ИС и електро-технологии с импулсен ток и РС управление за електрохимични процеси на ниво TRL5, TRL6, TRL7, TRL8, TRL9, не са създадени в света и напълно отговарят и решават проблемите на Регламент на Европейския парламент и съвета за батериите и отпадъчните батерии, за отмяна на Директива 2006/66/ЕО и за изменение на Регламент (ЕС) 2019/1020 {SEC(2020) 420 final} - {SWD(2020) 334 final} - {SWD(2020) 335 final}. Същото се потвърждава от професионалната оценка от 105 страници на официалната научна комисия на ЕС - лицензирана фирма "IMProve Assessment report shows your firm's performance in the Innovation Management Assessment", на проекта на Електротехнология ООД София - "Benchmarking Report Innovation Management Assessment Electrotechnologia Ltd".

ЛИТЕРАТУРА

1. Гишин С. С., Метод и система за зареждане на акумулаторни батерии, Патент за изобретение BG 112860/04.01. 2019г. ПВ, РБ
2. Гишин С. С., Система за зареждане на акумулаторни батерии, Полезен модел BG 3885 от 28.7.2020г., РБ
3. Гишин С. С., Метод и система за производство и съхранение на електроенергия от възобновяеми енергийни източници, Заявка за патент с рег.№ 113456 от 09.12.2021г. ПВ, РБ
4. Гишин С. С., Метод за електро екстракция на метали от оловни отпадъци, Патент за изобретение BG112879/13.2.2019г.ПВ, РБ
5. Гишин С. С, Устройство за електро екстракция на метали от оловни отпадъци, Свидетелство за полезен модел, BG 3181/20.02.2019г.
6. Гишин С. С., Метод за електро екстракция на метали от оловни отпадъци, Патент за изобретение DE 102019002 503.2, от 04.04 2019г., Германия
7. Гишин С. С., Устройство за електро екстракция на метали от оловни отпадъци, Свидетелство за полезен модел DE 202019001561.2 от 09.04.2019г., Германия

За делови контакти:

Д-р Стоян Гишин, телефон: +359 888 45 70 22

Старши научен сътрудник по електротехнологии

e-mail: electrotech@abv.bg , ac.europel@abv.bg

СИСТЕМА ЗА ЕНЕРГИЕН МЕНИДЖМЪНТ. ЗАСЧЕМАНЕ НА ТОВАРОВИ ГРАФИЦИ НА АКТИВНА И РЕАКТИВНА ЕНЕРГИЯ НА СТРАНА 110 KV.

инж. Полина Кесова

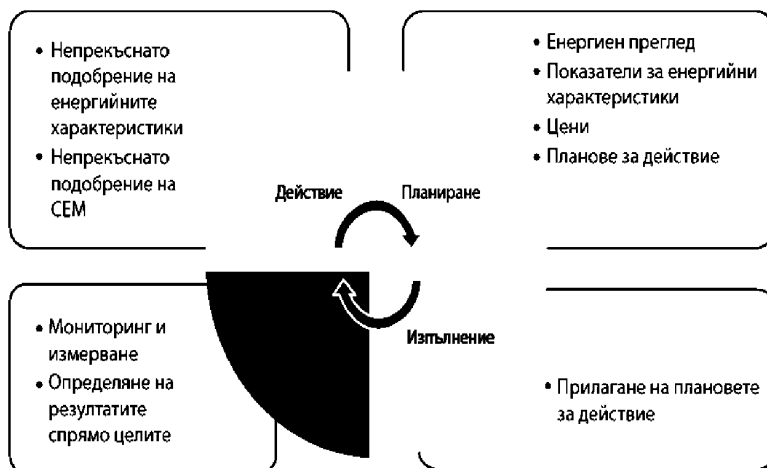
E-mail: p.kesova@ellatzite-med.com

ABSTRACT

An analysis of the architecture and functionality of an energy management system was made. Measurements were made with modern network analyzers at 35 points of the 110KV, 20KV, 6 KV and 0.4KV electrical networks. In order to determine the indicators of the quality of electrical energy, the electrical quantities specified in the standards were recorded and averaged at time intervals, allowing to determine all the indicators of the quality of electrical energy. To analyze the nature of the load on the 110KV side, the load schedules for the current and for the active and reactive electricity for working days and holidays for Tr. №1 and Tr. №2 are shaded. The power factor values averaged over a 15-minute interval, which are necessary for the analysis of the distribution of reactive loads in electrical networks, have been determined. Load schedules were recorded, power quality indicators and power factor values for each section were determined.

Същност на енергийна система на управление

При системата за енергиен мениджмънт (СЕМ) се прилага системен подход на всички етапи на закупуване, преобразуване и използване на енергията. Тя се състои от отделни елементи, които служат за определяне на енергийната политика с цели и процедури за постигане на поставените цели. През 2009 г. е въведен европейски стандарт БДС EN 16001:2009, а през 2011 г. – международен стандарт за такъв тип системи БДС EN ISO 50001:2011 „Системи за управление на енергията. В световен мащаб се разработват комплексни платформи за мониторинг, анализ, идентифициране на мерки с цел повишаване на енергийната ефективност в предприятията, които се наричат системи за енергиен мениджмънт. Тези системи обхващат енергийните потоци в дадена промишлена система, като предлагат общи или специализирани решения, следят ключови индикатори и могат да имат допълнителни функции в зависимост от целите на системата и секторните специфики. Разработването и внедряването на СЕМ условно може да се раздели на 4 основни етапа и един подготвителен, всеки от които има за цел изпълнението на отделни дейности, които следват стандарта БДС EN ISO 50001. Основа на стандарта е цикълът на Деминг за непрекъснато подобряване: Планиране-Изпълнение-Проверка-Действие (Фигура 2.1).



Фигура 2.1. Цикъл на Деминг за подобряване на енергийните характеристики и СЕМ

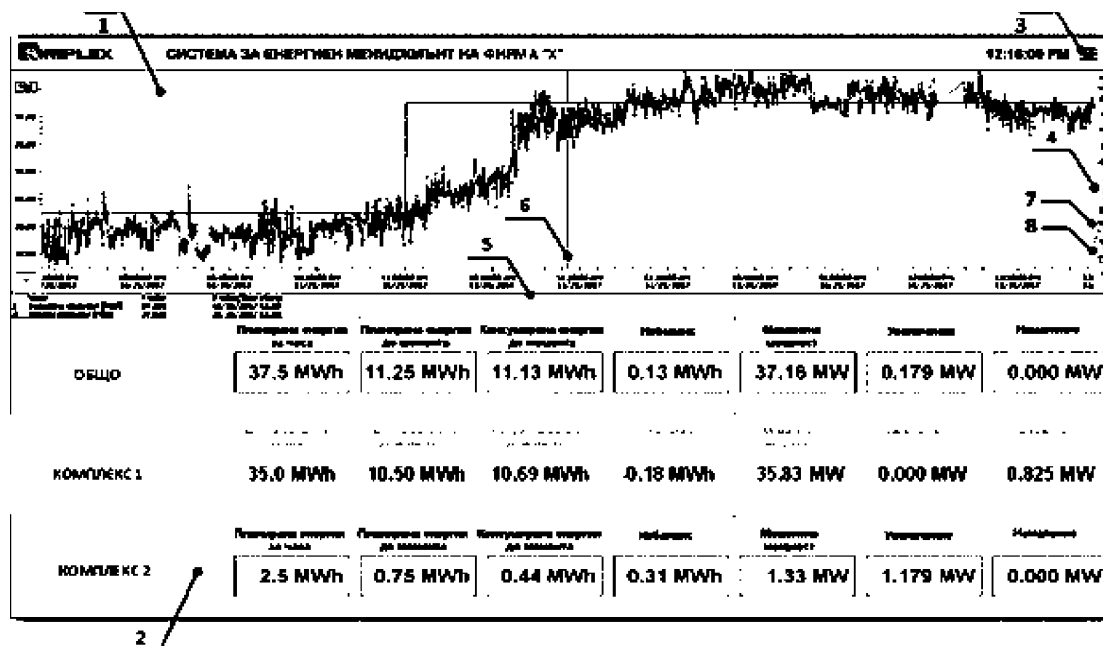
За подобряване използването на енергия в Елаците-Мед е въведена система за управление на енергията (система за енергиен мениджмънт), сертифицирана в съответствие с международния стандарт ISO 50001. Проектираната и изградена система за енергиен мениджмънт в предприятието включва мултифункционални мрежови анализатори, програмируеми логически контролери, информационни панела, софтуер за визуализация, софтуер за достъп, централен сървър използван за визуализация на данни от анализаторите и запис на тези данни, както и софтуер за отчети. Системата позволява наблюдение в реално време и показване на история, под формата на графики, на следните показания:

- Активна мощност;
- Реактивна мощност;
- Пълна мощност;
- Токове;
- Напрежения;
- Честота;
- Фактор на мощността;
- Хармонично изкривяване на тока;
- Хармонично изкривяване на напрежението.

Софтуерът за отчети позволява съставяне на отчети за използваната енергия за зададен произволен период за всеки консуматор включен в системата. При възникнал проблем в комуникацията между централния сървър и програмируемите логически контролери, софтуера позволява възстановяване на загубени данни (данни за използваната енергия). След отстраняване на проблема системата автоматично записва съхранените данни.

Основното меню на системата (фиг.2) се състои от три части:

- Визуализация на зададената в товаровия график мощност и текущата мощност на предприятието (фиг.2-1). Периодът на проследяване се задава чрез избор на (4) от фиг.2, а стойностите в определен момент, позициониран от (6) се показват в част (5), както е показано на фиг.2. Така, че от графиката може да получи информация за това, как се е движела консумацията на предприятието за зададен период;
- Баланс на предприятието за двата основни комплекса - обогатителен и рудодобивен (фиг.2-2);
- Навигационно меню, чрез което се достъпват всички останали екрани от системата (фиг.2-3).



Фиг.2: Основно меню на CEM

Може да се извърши и статистическа обработка на данните включваща следните изчисления:

- Минимална стойност и максимална стойност
- Средна стойност и стандартно отклонение
- Продължителност и брой измервания

Аналогично на информацията за баланса на предприятието от основното меню, се представят и балансите на отделните производства като се визуализира: планираната енергия за часа, планираната енергия до текущата минута от часа, консумираната енергия до текущата минута от часа, разликата между планираната и консумираната енергия до текущата минута (небаланс), моментната мощност и препоръка за увеличение или намаление на мощността за спазване на планираната енергия за часа.

- Оптимално управление на реактивните мощности

I. Методика на измерванията на реактивните мощности

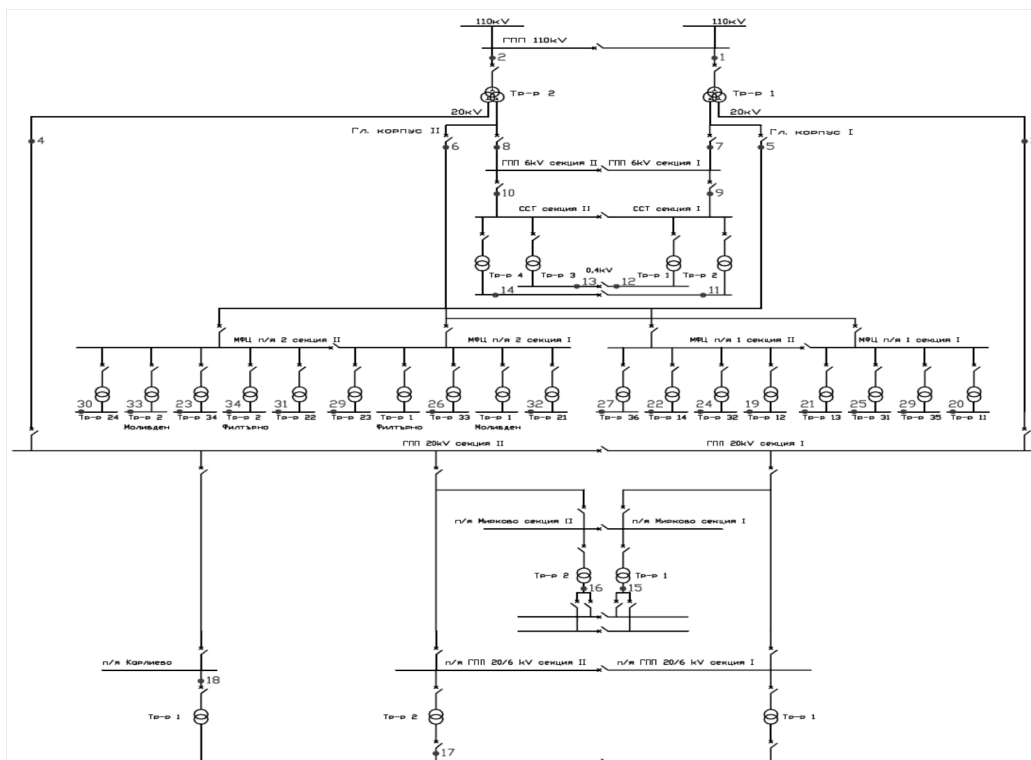
Всички измервания на електрическите параметри на мрежите са направени със съвременни мрежови анализатори FLUKE 437-II и FLUKE 435-II.

Клас на точност на уредите при измерване:

- на напрежение 0,1% от номиналното (1000V);
- по ток за амперклепси (i 430 flex) $\pm 1,5 \%$;
- мощност: активна, реактивна, пълна (i 430 flex) $\pm 2,0 \%$;
- честотен диапазон – от 10 Hz до 7,0 kHz.

Резултатите от измерванията на показателите за качество на електрическата енергия са съпоставени с изискванията на БДС EN 50 160:2010 „Характеристики на напрежението на електрическата енергия, доставяна от обществените електрически мрежи” 2014.

Двата силови трансформатори 110/20/6 kV са в работа, като секционните прекъсвачи на шини 6 kV и 20 kV се изключени. Всички стойности за товарите графици (ток, активна и реактивна мощност) са осреднени за 15 минутен интервал.



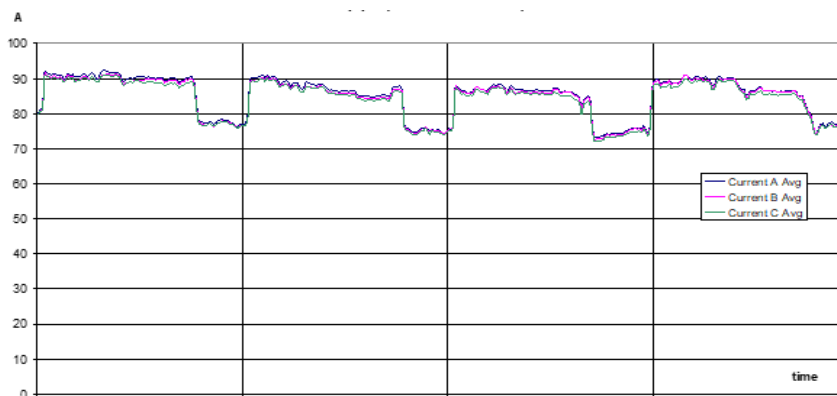
Фиг.3

Заснемане на товарови графици на активна и реактивна енергия за работно денонощие на страна 110 kV

В периода от 11.06.2022г. до 05.07.2022 г. едновременно с двата мрежови анализатори са записани на страна 110 kV на двата трансформатора 110/20/6kV следните величини:

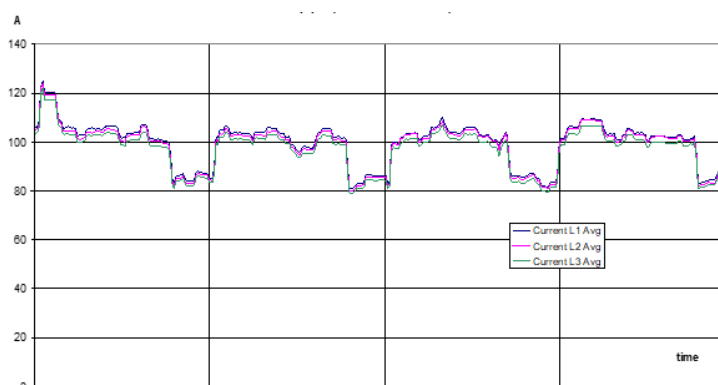
- ефективна стойност на напрежението на трите фази;
- ефективна стойност на тока в трите фази;
- черпената активна мощност;
- черпената реактивна мощност;
- изчисления фактор на мощността.

Кривата на изменението на тока във времето в първичната намотка на трансформатор №1 за период от 4 дни е дадена на фиг.4. Натоварването на трансформатора нормално е около 90 А, като за времето на спиране от работа на един от цеховете, токът в първичната страна на трансформатора спада до около 75 А.



Фиг.4

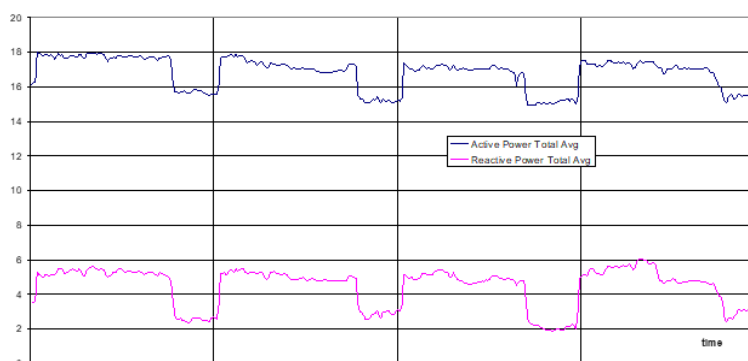
Кривата на изменението на тока на трансформатор №2 е дадена на фиг.5. Натоварването на трансформатора нормално е около 105 А, като за времето на спиране от работа на цаха токът в първичната страна на трансформатора спада до около 80 А.



Фиг.5

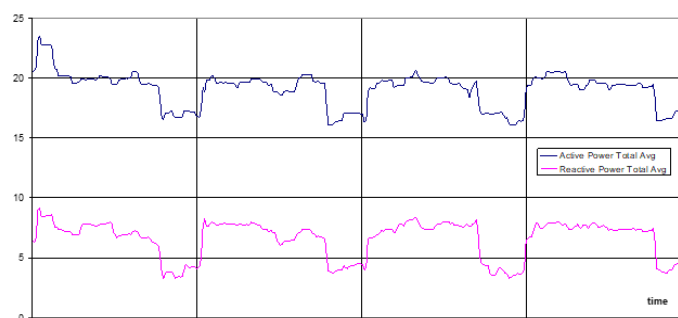
Характерът на кривите на тока за двата трансформатора е подобен, като трансформатор №2 е натоварен с 10-15 А повече от трансформатор №1.

Кривите, показващи изменението на активната и реактивната мощност във времето на страна 110kV на трансформатор №1 в продължение на четири денонощия са дадени на фиг.6.



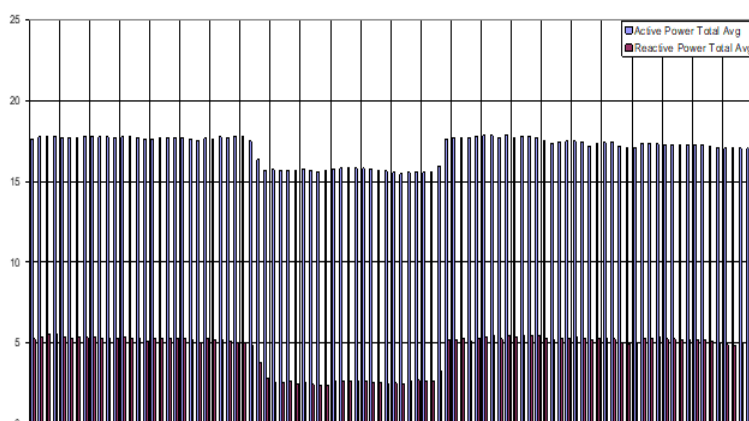
Фиг.6

Изменението на активната и реактивната мощност на Тр. №2 за същия период от време са дадени на фиг.7. Очевидно Тр. №2 е по-натоварен от Тр. №1. При нормална работа черпената активна мощност е около 20 MW.



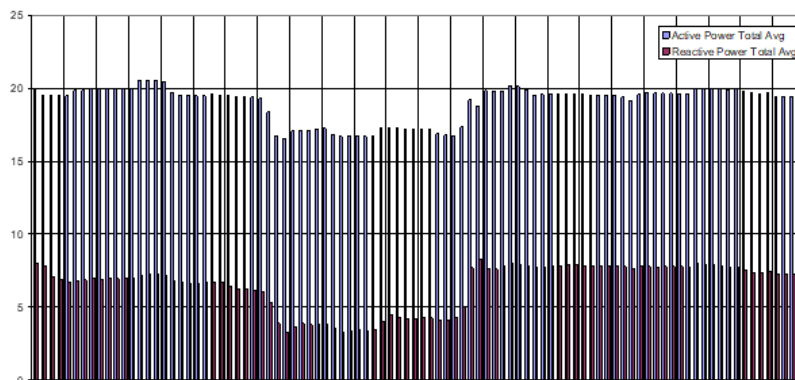
Фиг.7

Груповият стъпаловиден товаров график на Трансформатор №1 за активна и реактивна мощност, построен на 15 минутен интервал, за работно денонощие е даден на фиг. 8.



Фиг.8

Груповият товаров график на Трансформатор № 2 за активна и реактивна мощност, построен на 15 минутен интервал, за работно денонощие е даден на фиг 9.



Фиг.9

3. Заключение:

Направен е обобщен анализ на Система за енергиен мениджмънт (СЕМ), която е внедрена в Елаците-Мед АД.

Извършени са измервания със съвременни мрежови анализатори на точки от електрическите мрежи 110kV, 20 kV, 6 kV и 0,4 kV..

За определяне показателите на качеството на електрическата енергия в продължение на една седмица са записвани и осреднени на интервали от време определени в стандартите електрическите величини, позволяващи да се определят всички показатели на качеството на електрическата енергия. За анализ характера на натоварването на страна 110 kV са заснети товарни графики за тока и за активната и реактивната електроенергия за работно денонощие за Тр.№1 и Тр.№2.

Целта на СЕМ, която е внедрена в Елаците-Мед АД се свежда до намаляване на енергийните разходи и въздействието върху околната среда чрез постоянно и систематизирано управление на енергията.

Ползите за предприятието са финансови и са свързани с намаляване на разходите и повишаване на конкурентоспособността на продукцията или услугите.

4. Литература

1. ISO 50001-2011, Energy management systems - Requirements with guidance for use (IDT).
2. IERC, European Research Cluster on the Internet of Things,
<http://www.internet-of-things-research.eu/documents.htm>.
3. Shrouf F., Miragliotta G., Energy management based on Internet of Things: Practices and framework for adoption in production management, Journal of Cleaner Production, 100, pp.235-246, March, 2015.
4. Care+, Наръчник по енергийна ефективност за химически МСП. Добри практики за енергийна ефективност, 2009,
<http://www.cefic.org/Documents/IndustrySupport/RC%20tools%20for%20SMEs/CARE-self-audit-guide-in-bulgarian.pdf>.

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF HIGH-FREQUENCY TRANSFORMER

Nikolai Iliev

Technical University of Gabrovo, Gabrovo, Bulgaria, niliev@tugab.bg

ABSTRACT

The article discusses the modeling and analysis of the magnetic field of a high-frequency transformer with the Finite Element Method (FEM), designed for the needs of power electronics. Based on the results of the analysis, the losses in the ferrite core and the losses in the windings are calculated.

INTRODUCTION

The desire of design engineers to increase the density and efficiency of electricity conversion has led to the use of high-frequency (HF). It allows to effectively reduce the size of transformers and inductors (called magnetic components) by increasing the converted electricity.

However, the use of high-frequency magnetic components is associated with an increase in eddy current losses in their ferromagnetic cores, as well as losses in their windings due to the skin effect and the proximity effect.

The calculation of these two types of electricity losses in the design of magnetic components in modern power supply and converter devices of power electronics by analytical formulas is approximate and inaccurate. Accurate calculation in design can only be done using an appropriate numerical method, such as the Finite Element Method (FEM). The FEM simulations allow the designers to place the virtually designed magnetic components in working conditions (power supply and set the environmental parameters) and on the basis of the obtained results to draw conclusions about their operability, i.e., to simulate a physical experiment.

In the present work, the magnetic field of a high-frequency(HF) transformer designed for power supply devices of power electronics is modeled and analyzed. The free FEMM software [1] is used for simulation purposes.

TRANSFORMER MODELLING

The object of modeling is a high-frequency transformer, shown in Fig.1 with a rated frequency of 60 kHz. The primary and secondary windings are wound from Litz wire[2] to reduce losses. The primary winding has 22 turns, each of which consists of 2 wires in parallel Litz wire type AWG 12, consisting of 420 strands with a cross-section of 0.107 mm. The secondary winding has 2 turns, each of which consists of 3 wires in parallel Litz wire type AWG 30, 2790 strands with a cross-section of 0.0799 mm. The primary winding is supplied with a voltage of 670 V, 60 kHz. The core is ferrite type E [3] with a rectangular cross-section of the central core. The CAD model of the transformer is shown in Fig.1:

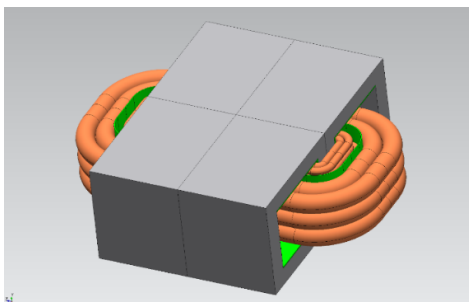


FIGURE.1. HF transformer

The quasi-stationary magnetic field of the transformer excited by the alternating currents in its two windings is modeled. The modeled transformer has two planes of symmetry, the traces of which are very visible on the upper plane of the model of Fig 1. This allows solving the problem of analysis of a plane-parallel field in the two-dimensional case, in the area shown in Fig. 6.

Modeling Equations

As is known from the theory of the electromagnetic field, the relationship between the current density and the electric field strength in a conductive medium is:

$$\vec{J} = \gamma \vec{E} \quad (1)$$

According to Maxwell's second equation:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2)$$

By substituting in it the magnetic flux density, expressed by the magnetic vector potential $\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A}$ can be obtained:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\vec{\nabla} \times \vec{A} \quad (3)$$

In the case of 2-D problems, (3) can be integrated to yield:

$$\vec{E} = -\vec{A} - \vec{\nabla} V \quad (4)$$

and the constitutive relationship, (1) employed to yield:

$$\vec{J} = \gamma \vec{E} = \gamma(-\vec{A} - \vec{\nabla} V) = -\gamma \vec{A} - \gamma \vec{\nabla} V \quad (5)$$

Substituting into (6) yields the partial differential equation (7):

$$-\frac{1}{\mu} \nabla^2 A = J \quad (6)$$

$$\frac{1}{\mu} \nabla^2 A = \sigma \dot{A} - J_s - \gamma \nabla V \quad (7)$$

Written in the Cartesian coordinate system and for the phasors, it has the form:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu_x} \frac{\partial \dot{A}_m}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu_y} \frac{\partial \dot{A}_m}{\partial y} \right) = j\omega \gamma \dot{A}_m - \dot{J}_{sm} - \gamma \nabla V \quad (8)$$

where

$\dot{A}_m$ is the complex amplitude of the magnetic vector potential $\vec{A}$;

$\dot{J}_{sm}$ - is the complex amplitude of the z- component of the source current density vector $\vec{J}_{sm} = \vec{J}_z$;

γ - conductivity;

ω - the angular rate of sinusoidally varying quantities;

∇V - additional gradient of electric potential;

μ_x, μ_y - the magnetic permeability of the medium along the x and y axes.

The FEMM software solves equation (8) in the area shown in Fig. 6 under the corresponding boundary conditions.

Modeling of Materials

One method to radically reduce losses in the windings of high-frequency magnetic components is to use a multicore copper conductor called Litz wire. It consists of a large number of thin copper wires(strands), insulated and twisted relative to each other. The modeling of the Litz wire in the simulations of high-frequency transformers and inductors with FEM is one of the important challenges for software engineers and specialists.

To this end, the FEMM software uses a special approach to modeling the Litz wire using complex magnetic permeability [4]. The advantage of this method is that it is not necessary to model all the strands of the Litz wire but to define a complex permeability for the whole area of the winding. To activate it, it is necessary for the field "Special Attributes: Lamination & Wire type" (Fig. 2) only to enter: the type of wire - Litz wire, Number of strands (number of strands), and Strand dia, mm (diameter of the strand). This way of modeling is very convenient for simulations when the wire contains many, hundreds, or thousands of strands because they do not have to be drawn in the model separately and the problem is solved in a short time. This, along with the fact that the software is free, is another major advantage of simulating FEMM transformers and inductors with Litz-wire coils over expensive commercial software. However, it should be noted that the results of the calculation of the AC resistance to the skin effect and the proximity effect, which are obtained on the basis of the method of complex magnetic permeability are not very accurate - it is within acceptable engineering accuracy, which is quite sufficient for designers to get an idea of the magnitude of losses in copper due to the increase in resistance from high frequency.

The model of the Litz wire for the primary winding is shown in Fig. 2. For the material of the secondary winding, the model is created in a similar way, changing only the number of strands and their diameter.

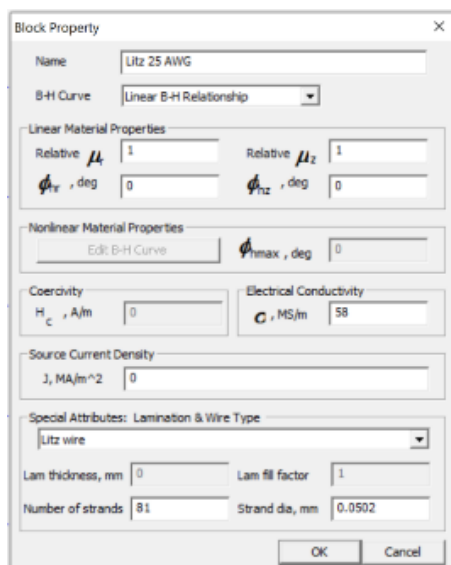


FIGURE. 2. Model of the primary winding material Litz 25 AWG.

To reduce losses in the ferromagnetic core of the transformer, ferrite of material type R [3] is used. The FEMM software makes it possible to solve the nonlinear problem taking into account the strong nonlinearity in the magnetic properties of the ferrite core. For this specific material, the manufacturer does not give directly the initial magnetization curve, but the curve of permeability versus flux density shown in Fig. 3.

PERMEABILITY vs. FLUX DENSITY

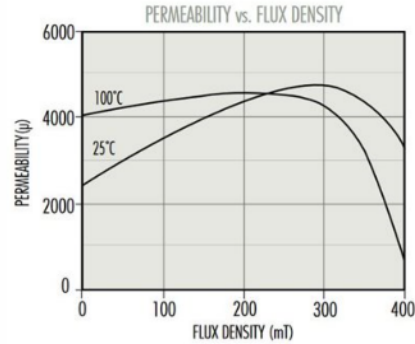


FIGURE. 3. The permeability versus flux density for the core material.

However, the software requires that the initial magnetization curve be entered into it. Therefore, with the help of MS Excel, it is easily transformed into $B = f(H)$, given the relationship between the permeability, the intensity of the magnetic field, and flux density below:

$$H = \frac{B}{\mu_0 \mu_r} \quad (9)$$

The resulting curve after processing and entering into the software is shown in Fig. 4.

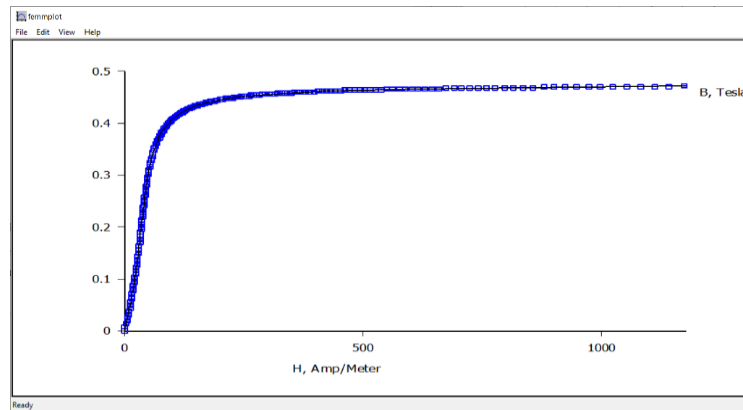


FIGURE. 4. Initial magnetization curve for the core material.

Boundary Conditions

The problem is solved under Dirichlet boundary conditions, ie. zero value of the magnetic vector potential. They are set from the menu Properties, Boundary (Fig. 5). To set the boundary conditions correctly, the model is surrounded by a rectangular area in which Air material is set. The boundary conditions are set on the sides of the rectangle surrounding the model, as shown in Fig. 6.

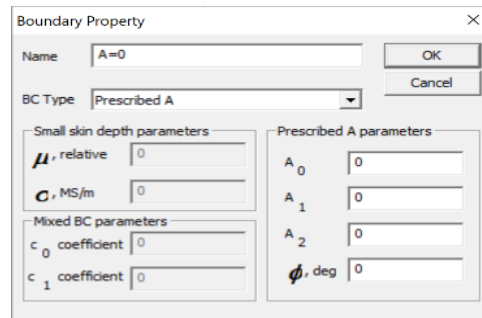


FIGURE. 5. Boundary conditions.

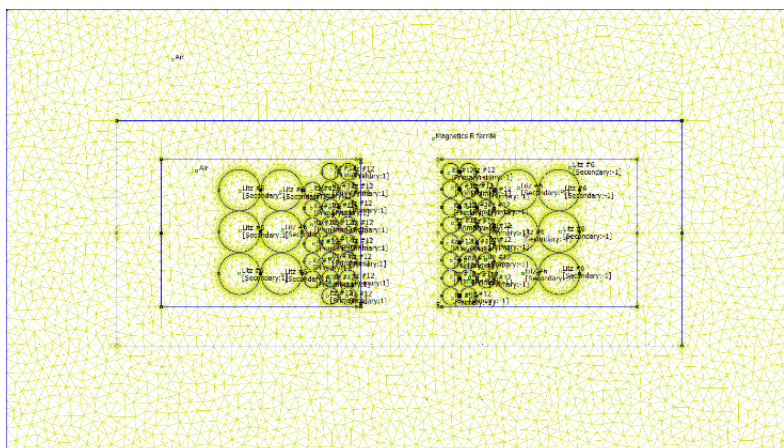


FIGURE. 6. Meshed FEA model.

MESHING AND SOLVING OF THE MODEL

Model Meshing

The model of Fig. 6 is automatically meshed by the software of 80160 triangular finite elements and 40200 nodes. If the mesh density does not match the desired one, it can be changed by selecting the block labels of the objects and by changing the size of the finite elements accordingly, defined in the properties of each object in the model area.

Solving the Model

At the start of the analysis, the FEMM software solves equation (8) in the area of Fig. 6. Solving the task is relatively fast, depending on the resources of the computer used. As a rule, FEMM does not require significant computing resources - RAM and disk space.

RESULTS AND POSTPROCESING

The solution results in the distribution of the flux density in the region shown in Fig.7.

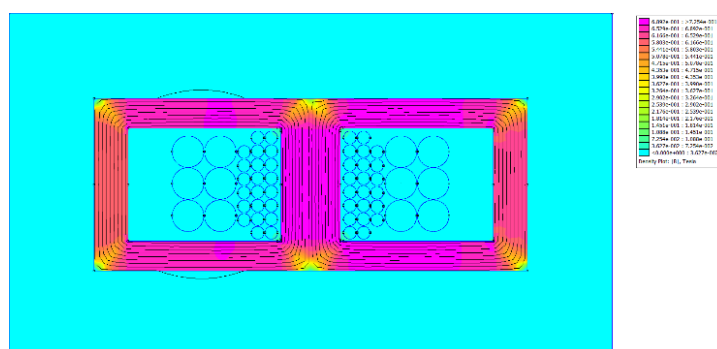


FIGURE. 7. Flux density distribution.

Fig. 7 clearly shows the lines with the same magnetic vector potential, which are also lines of magnetic flux. In order to calculate the total losses in the ferrite core, integration by its volume is used (marked in green in Fig. 8). These losses include hysteresis losses, eddy currents, and additional losses.

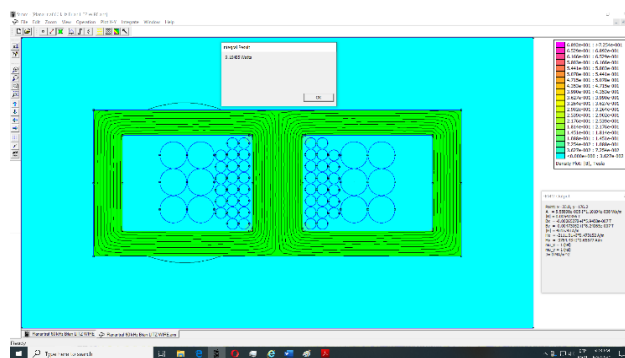


FIGURE. 9. Calculation of AC losses.

TABLE 1. Transformer losses

№	Losses type	Watts
1	Core losses	9.16
2	AC losses in Primary	19.8
3	AC losses in Secondary	17.82

If “circuit” properties are used to specify the excitation of transformer, a number of useful properties relative to the circuit are automatically available. To view the circuit results select View/Circuit Props off of the postprocessor main menu. A dialog, as pictured in Fig.9 will appear. There is a drop list on the dialog, from which the user selects the circuit for which results are desired.

The window that opens is shown in Fig. 10, provides very important information for each of the transformer windings, which includes: total current, voltage drop, flux linkage, self-inductance (flux/current), AC resistance (voltage/current), real power, reactive power, apparent power.

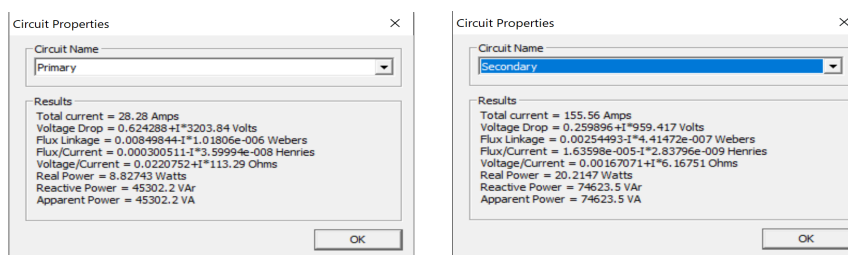


FIGURE. 10. „Circuit properties” for the primary and secondary

CONCLUSIONS

The numerical model for magnetic field analysis of modern high-frequency transformers developed in the present work can be successfully applied in the design of this type of magnetic device by engineers.

The FEMM software used is a powerful software product and at the same time very easy to use, which makes it an excellent starting point for an introduction to the use of FEA systems in electromagnetism and for studying the finite element method by students.

The simulation of a physical experiment saves significant time and money for the development of technical documentation, the production of a prototype in metal, and its experimental study to determine whether the requirements of the terms of reference are met.



REFERENCES

- 1 Meeker, FEMM reference manual, Version 4.2, October 2015, Available from: <http://www.femm.info/Archives/doc/manual42.pdf>
- 2 New England Wire Technologies, Product Selection Guide, NH, USA, Available from: <https://www.newenglandwire.com>.
- 3 Magnetics Inc., Magnetics Ferrite Cores Catalog, PA, USA, Available from: <https://www.mag-inc.com/Media/Magnetics/File-Library/Product%20Literature/Ferrite%20Literature/Magnetics-2021-Ferrite-Catalog.pdf?ext=pdf>.
- 4 Meeker, "Continuum Representation of Wound Coils via an Equivalent Foil Approach", Available from: <http://www.femm.info/examples/prox/notes.pdf>

ПРОИЗВОДСТВО НА ЕЛЕКТРИЧЕСКА И ТОПЛИННА ЕНЕРГИЯ ОТ ПРИРОДЕН ГАЗ

Веселин Митков, Лъчезар Георгиев, Николай Лаков
e-mail: veselin.mitkov@mgu.bg; lachezar.georgiev@mgu.bg; NLakov@mgu.bg

ABSTRACT

Opportunities for the production of heat and electricity from natural gas are discussed. Preliminary techno-economic calculations have been made on the efficiency for heat and power generation

Въведение

При разделното производство на енергия, потребителят получава електрическата енергия, която се произвежда от електроцентрали, а топлинната енергия се произвежда в топлоцентрали. В този случай загубите са определени около 40% в производството на топлинна енергия и 60% в производството на електрическа енергия. За преодоляване на загубите при производство на електрическа и топлинна енергия се използват съоръженията когенератори и горивни клетки работещи на природен газ. Газомотор генераторите и газотурбогенераторите се използват за производство само на електрическа енергия от природен газ.

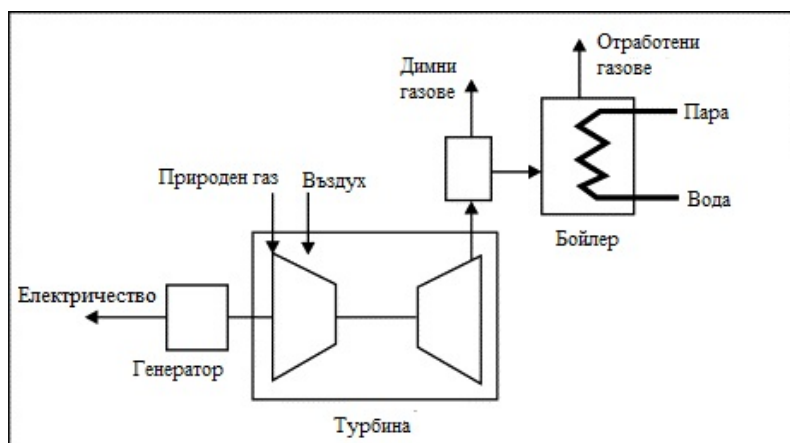
От природен газ чрез комбиниран цикъл се произвежда топлинна и електрическа енергия. Комбинираният цикъл се нарича когенерация. Когенераторите са приложими за производство на електрическа и топлинна енергия от природен газ, разположени близо до газово находище газопровод или с компресиран газ [1,2,3]. Получената електроенергия може да се използва за производство на водород чрез електролиза. Горивните клетки представляват електрохимични средства, чрез които химическата енергия се превръща в електрическа, без междинна механична работа (без изгаряне и подвижни елементи) [4].

Когенерация

Когенерацията представлява производство на термодинамична топлина и електрическа енергия от един първоначален източник на енергия (природен газ). Разделянето на електрическа енергия и топлинна енергия се характеризира с незначителни енергийни загуби. На фиг.1 е показана технологична схема за производство на електрическа и топлинна енергия от природен газ с когенератор.

Когенераторите имат следните предимства:

- Висока степен на автоматизиране на процеса на управление и малък брой на обслужващия персонал;
- Сравнително нисък разход на електроенергия за собствени нужди - около 3,5%;
- Висок КПД на цикъла - около 85%;
- Кратки срокове за изграждане и пускане в експлоатация;
- Маневреност на модулите, чиято мощност може лесно да се регулира в широк диапазон;
- Екологично производство - намаляват се емисиите на въглеродни и азотни оксиди и отпадат емисиите на серни оксиди и прах;
- Ниски с капиталовложения - от порядъка на 800-1500 EURO/kW, които са два-три пъти по-ниски в сравнение с електроцентралите.



Фиг.1. Технологична схема за производство на електрическа и топлинна енергия от природен газ с когенератор.

Газомотор генератори и газотурбо генератори

За производството на електрическа енергия се използват газомотор генератори или газотурбогенератори [1].

а) газомотор генератори - състоят се от две части – бутален газомотор и генератор за променлив или прав ток. В зависимост от необходимата честота на променливия ток (50 и 60 Hz) газомоторите работят с постоянни обороти 1500 (1000) min⁻¹. Съществуват два вида газомотори-с двойно гориво и с искрово запалване. Моторите с двойно гориво използват около 10-15% за запалването, при прекратяване подаването на газ автоматично преминават изцяло на дизелово гориво. Моторите с искрово запалване консумират само газ. При едни и същи обеми и обороти тези мотори развиват с около 8-18% по-малка мощност от моторите с двойно гориво и с около 50% по-малка мощност от дизеловите мотори. Мощността на двигателите е с няколко десетки kW до над 3140 kW. Необходимото налягане на газа е от 200-400 mm в.ст. (0,02÷0,04 at) до 200 mm Hg стълб (0,27 at). Тези мотори могат да се използват и като първични двигатели за задвижване на бутални помпи и компресори, леки и тежки автомобили и т.н.

Генераторите са във взривобезопасно изпълнение, а алтернаторите са за честота 50Hz или 60Hz, изходящото напрежение е от 320V до 1500V, по-рядко повече. Електрическите мощности на алтернаторите са от няколко десетки kW до над 3000 kW (3MW) при коефициент на мощност 0,8.

б) газотурбогенератори - състоят се от две части – газова турбина и генератор за променлив (по-рядко за прав) ток.

Газовите турбини са специално конструирани за работа с газ или са авиационни турбодвигатели, преустроени за работа от течна на газообразно гориво. Газовите турбини се характеризират с по-голяма единична мощност, отколкото газомоторите – от около 393kW до 19625 kW и по-високи обороти – от 3000 (6000) до над 40000 min⁻¹. Поради по-високите си мощности газотурбогенераторите се използват за електрифициране на големи обекти от сондирането и експлоатацията – сондажни апаратури на сушата и в морето, системи за поддържане на пластовото налягане и компресорни станции. Използват се и за електрифициране на по-малки селища.

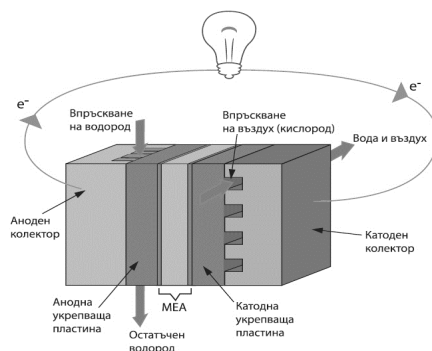
Големите мощности и значителният разход на газ (при сравнително нисък КПД) карат газовите турбини да изхвърлят в атмосферата значително количество топлина под формата на газов поток с температура 430-500°C. Обикновено газовите турбини се съоръжават с регенератори на топлината. Това дава възможност за отопление на оранжерии и населени места, производство на промишлена пара с ниска енталпия, даже и за производство на електроенергия с парни турбини.

Работи се по конструирането на газотурбогенератори с по – голяма мощност с цел електрифицирането на големи населени места и за производство на водород с електролизатори.

Горивни клетки

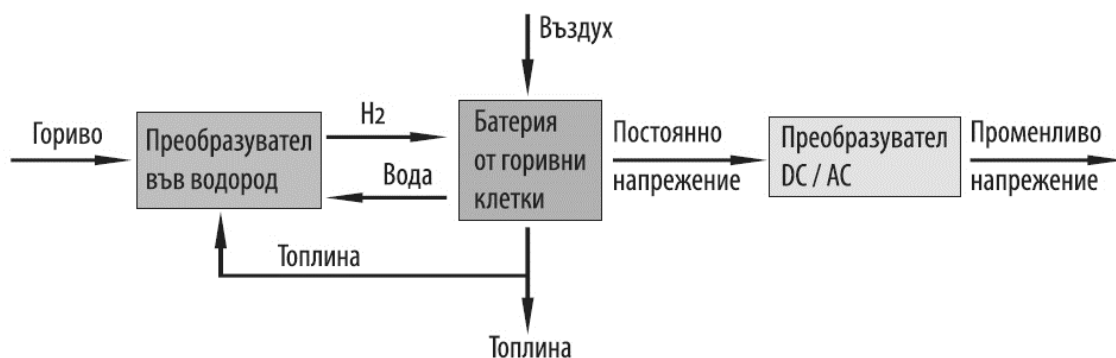
Горивните клетки произвеждат електричество и топлина непрекъснато, докато се подава гориво. Те се състоят от два електрода – отрицателно зареден (анод) и положителен (катод) и електролитна среда. Водорода като гориво се подава към анода, а въздухът се подава към катода. Във водородната горивна клетка се нанася катализатор върху мембрана, която разделя молекулите на водорода на протони и електрони, които от своя страна се насочват по различен път към катода [5]. Електроните преминават през външна верига, създавайки поток от електричество. Протоните мигрират към катода, където се съединяват с кислорода и електроните, за да произвеждат вода. При процеса се отделя и топлина.

Тя може да произвежда електрическа енергия с по-висока ефективност, отколкото простото изгаряне на водород за производство на топлинна енергия за задвижване на генератор. Водородната горивна клетка се характеризира с екологична работа. На фиг. 2 е показана технологична схема на работа на горивна клетка [7].



Фиг.2. Технологична схема на работа на горивна клетка

На фиг.3 е показана примерна схема на когенерационна станция с горивна клетка [7].



Фиг. 3. Схема на когенерационна станция с горивна клетка

Екологични предимства

Природният газ е един от най-чистите, сигурни и полезни енергийни източници, при чието изгаряне не се създават продукти, замърсяващи околната среда. Използването му не

води до отделяне на сажди, миризми и прах във въздуха. Природния газ изгаря, без да създава отпадъчни продукти, които да предизвикват киселинни дъждове. За разлика от дизеловото гориво, при изгарянето му се отделят значително по-малко парникови газове. При пълно изгаряне на въглеводородите, най-малко количество кислород се усвоява при изгарянето на метана, като се отделя най-малко въглероден диоксид. Ниското относително тегло и произтичащата от това летливост на природния газ го прави безопасен при изтичане, а химическия състав доказва липсата на токсични елементи.

Себестойност на електроенергията

Себестойността на електроенергията получена от природен газ с когенератори се влияе основно от цената на горивото (природен газ). Влияние оказват и първоначалните капиталови инвестиции, разходите за поддръжка, всички оперативни разходи и дисконтовата норма [6].

Разглежда се производство на водород с електролизатор с необходима 1 MWh електроенергия. За целта е определена цената на 1kWh електроенергия получена от когенератор при следните варианти:

1. Природен газ транспортиран по газопровод

За производството на 1 MWh електроенергия ще са необходими 100 m³ природен газ. При средна цена на природния газ 2500 лв. без ДДС за 1000 m³ се получава:

- 1kWh електроенергия ще бъде 0,25 лв. без ДДС;

- 1MWh електроенергия - 250 лв. без ДДС.

2. Използване на компресиран природен газ

За производството на 1 MWh електроенергия ще са необходими 100 m³ природен газ. При цена на природния газ средно 6000 лв. без ДДС за 1000 m³ струват:

- 1kWh електроенергия ще бъде 0,60 лв. без ДДС;

- 1MWh електроенергия - 600 лв. без ДДС.

Капиталните разходи за когенератор са от порядъка на 800-1500 EURO/kW.

Борсовата цена на 1 MWh електроенергия е 699 лв.

Заключение

В резултат от направения анализ е определено, че цената на електроенергията получавана от когенератор работещ на природен газ транспортиран по газопровод при производство на водород е значително по – ниска от предлаганата борсова цена. Природния газ е източник на енергия с уникални свойства, висока калоричност, екологично чист, висок коефициент на полезно действие при изгаряне, икономичен транспорт и съхранение и максимална гъвкавост при потребление.

Литература

1. Бояджиев. М, Л. Георгиев, Б. Джоров, Г. Узунов. Възможности за използване на газа от малки газови находища и акумулации чрез нови технологии и технически средства. XIV Научно – техническа конференция с международно участие „Транспорт, екология – устойчиво развитие”, ЕКОВАРНА 2008, стр. 231-237.
2. Бояджиев М., В. Илиева Анализ на възможности за безопасно смесване на природен газ и водород за използване в газоснабдителните системи, 2020, стр. 1-11. ISBN 2738-7011
3. Boyadjiev M.M., Analysis of the hydrogen concentration on networks for gas supply, Sofia 2020 ISBN 2682-9525
4. Николов Г. К., Разпределение и използване на природен газ, Юкономикс 2007 г.
5. Божкова Л., Производство на водород и електрическа енергия от природен газ – реалност и възможности. Геология и минерални ресурси, 2002, 2-3, стр. 3-7.



6. Радев, Ю, Икономика и управление на минералните ресурси, ИК "Св. Ив. Рилски", 2007
7. <https://www.energy-review.bg/bg/горивни-клетки/2/267/>
8. DIR 2012/27/EU - Директива 2012/27/ЕС на Европейския парламент и на Съвета от 25 октомври 2012 г. относно енергийната ефективност

Металургични симулации за изграждане на стратегия за управление на фабриката

A. Remes¹ и J. Moilanen²

1. Технологичен консултант, Metso Outotec Finland Oy, Espoo FI-02230.

e-mail: antti.remes@mogroup.com

2. Директор – Цифрови решения, Metso Outotec Finland Oy, Espoo FI-02230.

e-mail: jari.moilanen@mogroup.com

Ключови думи: данни в рудодобива, симулации, процесен модел, онлайн адаптация, машинно обучение

РЕЗЮМЕ

Всяка стъпка на промяна в производителността на минните компании е постижима чрез използване на данните от различни системи и прилагането им в съвременни анализиращи и симулационни процеси. Усъвършенстваните анализи и цифровите симулационни технологии създават нови прозрения за металургичните процеси и помагат за създаването на дълбоко разбиране на металургичния процес, и в крайна сметка дават възможност за оптимизиране на операциите по цялата производствена верига.

Параметри на процеса, като оптимален капацитет на захранване, целеви нива и степен на извличане на ценни минерали, трябва да бъдат съгласувани с характеристиките на различните типове руда, както и с наличното технологично оборудване. Те допринасят за изпълнение на целите за устойчивост и плановете за производство, които са типични за минните компании, като по-малко използване на енергия, вода и други комунални услуги, както и минимизирани емисии на CO₂.



Тази сесия представя промишлен пример на разработване на металургична цифрова симулация на завод за преработка на минерали с начални резултати и практически изводи. Също така е представено решение за онлайн адаптиране на параметрите на металургичен цифров симулационен модел, за проследяване на данните в реално време от системата за управление на процеси. Освен това се обсъждат подходи за избор на оптимални оперативни цели на процеса при променливи условия на предприятието, като се сравняват с подобни модели, разпознати от историята на процеса. Тези заводски цели могат да бъдат зададени за планиране на производството на смяна – ежедневно – седмично – месечно, което води до икономическа оптимизация в целия завод. Тези цели се изпълняват чрез оптимизаторите на процеса, използвайки предсказуем контрол на модела (MPC) в реално време.



За повече информация, моля, сканирайте QR-кода и последвайте линка към цялата тема.

Metso:Outotec

Интелигентна апаратура като основа за оптимизация на процеси

J. Newcomb¹ и G. Legrand²

1. Директор – Интелигентни прибори, Metso Outotec Finland Oy, Tampere FI-02230.

e-mail: johanna.newcomb@mogroup.com

2. Старши водещ инженер по проектиране, Metso Outotec Франция

e-mail: geoffrey.legrand@mogroup.com

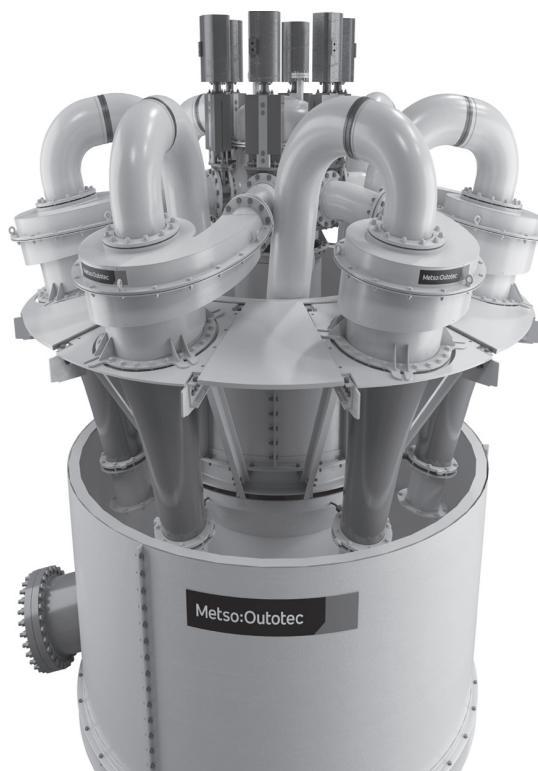
Ключови думи: данни в рудодобива, интелигентни прибори, интелигентно оборудване, оптимизация на процеси

РЕЗЮМЕ

Оптимизирането на производителността и надеждността на процесите изисква способност за точно, непрекъснато и стабилно измерване на ключова информация от процеса и оборудването. Получаването на критична информация за целите на оптимизацията и анализа често изисква първо разрешаване на труден проблем с измерването с подходяща напредничава технология. Тази статия обсъжда интелигентни прибори за процесите на рудодобива и оптимизациите, които те позволяват. Примери за това са измерване на размера на фракциите от конвейерна лента, както и измерване и анализиране на ключови показатели за ефективност от мелници, хидроциклони и флотационни процеси.



За повече информация, моля, сканирайте QR-кода вляво и последвайте линка към цялата тема.



Metso:Outotec

ИНФОРМАЦИОННО ТАБЛО ЗА АНАЛИЗ НА РАБОТНИТЕ ПРОЦЕСИ С ИЗПОЛЗВАНЕ НА ДАННИ ОТ ДИСПЕЧЕРСКА СИСТЕМА

Инж. Петко Пенков
Инж. Младен Недков
Email: p.penkov@ellatzite-med.com
m.nedkov@ellatzite-med.com

РЕЗЮМЕ

Основната мисия на дружество Елаците-Мед АД е ефективен и устойчив добив, преработка и обогатяване на полезни изкопаеми при стриктно спазване на нормативните изисквания за здравословни и безопасни условия на труд и опазване на околната среда. С цел постигане на по-ефикасното управление на минното оборудване и прецизиране на производствените процеси в рудник „Елаците“ през 2015 г. се въведе система за автоматизирано управление на минните производствени процеси Dispatch®. Стремeжe за непрекъснато подобряване на ефикасността доведе до добавяне на система за прецизна навигация и позициониране ProVision®. И двете системи са продукт на „Модюлар Майнинг системс, инк, САЩ“.

Работейки с двете системи започнаха да постъпват все повече и повече данни, обработката, на които само със стандартни таблични отчети стана неефективна и трудна за обзор. Особено за проследяване на производствените процеси. Това наложи нуждата от създаване на възможност за нов вид отчетност и анализ на данните. През 2022 г. започна разработката и въвеждането на система за графично визуализиране и анализ на данните набиращи се с производствения процес.

ABSTRACT

The main mission of the company Ellatzite-med AD is efficient and sustainable mining, processing and enrichment of minerals in strict compliance with the regulatory requirements for healthy and safe working conditions and environmental protection. In order to achieve more efficient management of mining equipment and refinement of production processes in the “Ellatzite” mine, in 2015 was installed and integrated a system for automated management of mining production processes “Dispatch”. The quest for continuous improvement in efficiency led to the addition of the ProVision® precision navigation and positioning system. Both systems are a product of “Modular Mining Systems Inc”.

Working with both of the systems began to receive more and more data, the processing of which with only standard tabular reports became inefficient and difficult to overview.. Especially for tracking production processes. This created the need to enable a new kind of reporting and data analysis. In 2022 started, the development and introduction of a system for graphical visualization and analysis of the data, collected during the production process.

Въведение

Елаците-Мед АД разработва един от най-големите рудници за открит добив на медна руда в Европа. Развива дейността си още от 1978 г. и е доказала, че е значим икономически фактор в областта, като осигурява заетост на голяма част от населението в региона.

През 2015 година в рудника се въведе система за автоматизирано управление на производствения процес. Системата е Dispatch®, продукт на американската фирма „Модюлар Майнинг Системс, инк.“. Малко след това в стремежът за непрекъснато подобряване и оптимизиране се инсталира и интегрира системата за високо точно позициониране ProVision®. След постигане на целите – автоматизирано управление ,

оптимизиране на транспорта, намаляване на престоите на машините, подобряване качеството на добиваната руда, чрез оптимално шихтоване и др., възникна необходимост от по-добро проследяване на производствените процеси.

Развитието на съвременните информационни технологии и все по-голямото им прилагане в останалите аспекти на производството – в частност дигитализирането на минния процес води до все по-голяма свързаност на хората с информационните технологии и нарастващия брой електронни устройства. По неофициални данни, всеки ден се създават 2 500 000 000 000 000 000 (квинтилиона) байта данни, като „повече данни пресичат интернет всяка секунда, отколкото са били съхранявани в целия интернет само преди 20 години.“. Всички тези данни са трудни за разбиране от човешкия мозък без да се прави някаква аналогия или абстракция, чрез методите за управление и анализ на т.н. “big data“. Човек може лесно да различава разликите в дължината на линията, формата, ориентацията, разстоянията и цвета (оттенъка), без значителни усилия за обработка.

В крайна сметка големите данни са безполезни, ако не могат да бъдат разбрани и консумирани по разбираем начин. Ето защо визуализацията на данните играе важна роля във всичко - от икономиката до науката и технологиите, до здравеопазването и човешките услуги. Чрез превръщането на сложни числа и друга информация в графики, съдържанието става по-лесно за разбиране и използване.

Реализация на проекта

След внедряването на двете системи за управление на производствения процес и постигането на целите, се получи един задоволителен за момента, с начина си на работа, процес. Задаването на производствените параметри, изпълняването им с помощта на Dispatch® и ProVision® и в последствие отчитането на производството с обикновени таблични отчети – добити обеми, извозена минна маса, постигнати планови показатели и т.н., осигуряваше стабилност и спокойствие в работата. Системите даваха достатъчно голям набор от данни – генерират се по над 1 млн. реда записи за работна смяна, отчетността вървеше, но липсваше обзорна информация как реално протича производството и факторите, които му влияят.

Беше обсъден и предложен вариант за подобряване и развиване на отчетността, чрез графично визуализиране на данните, както за текущата работна смяна така и за изминалите. Информацията, която се търсеше е за детайлизиране и визуализиране на невидимите аспекти от производството и съпътстващите го процеси. Създаване на абстрактност на данните, за получаване на информация за по-доброто разбиране и цялостно проследяване.

Разгледаха се някои от най-известните и утвърдили се на пазара инструменти ориентирани в така наречения „Бизнес Интелиджънт“ – Фиг.1 ,сегмент от сферата на услугите свързани с информационните системи.

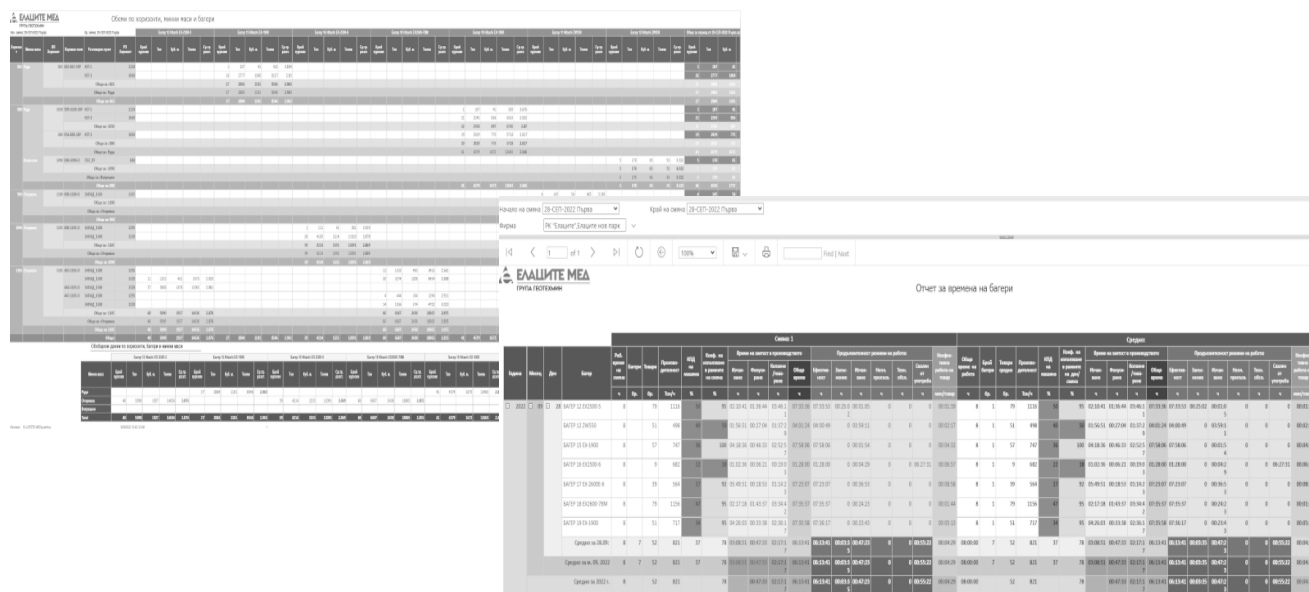


Фиг. 1 Бизнес Интелиджънт инструменти

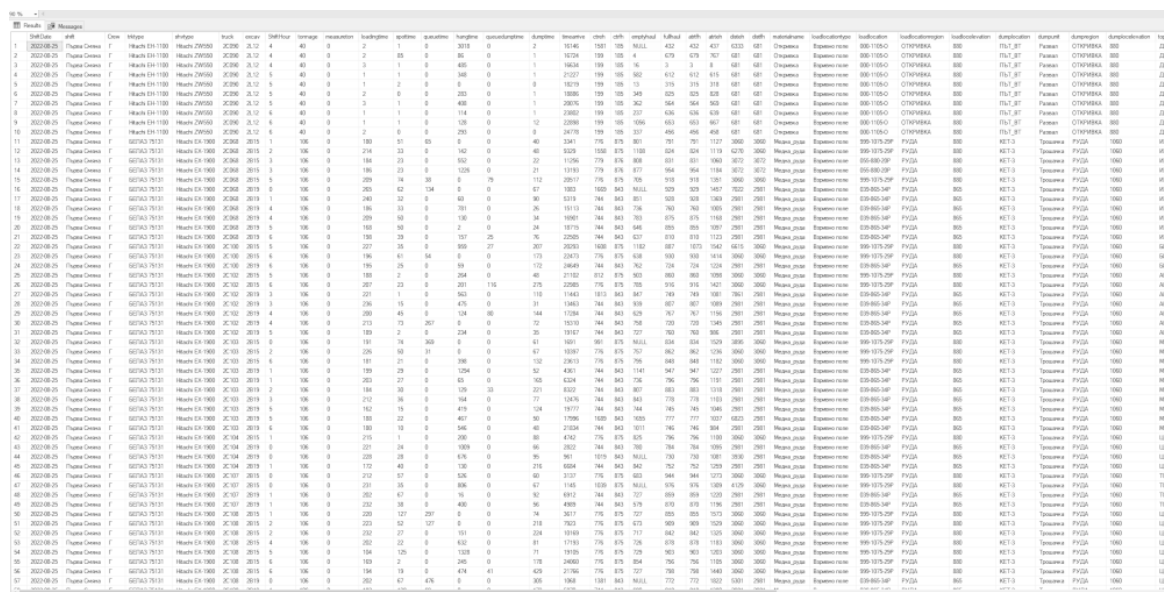
Основните параметри, които се търсеха в системите бяха – възможност за работа с голяма разновидност от източници на данни, достатъчна гъвкавост за подсигуряване на необходимите визуализации на данните и получаване на съответната информация, възможност за работа на мобилни устройства и други.

След извършените проучвания и тестове взехме решение да се разработи собствена система, достатъчно добре обвързана, гъвкава и с достатъчно бързодействие към интегрираните вече системи във компанията.

Процеса по разработване на системата започна естествено с основен преглед на текущата отчетност към системите – Фиг.2, преглед на данните получавани от системите и полеовото оборудване монтирано по машините – фиг. 3.



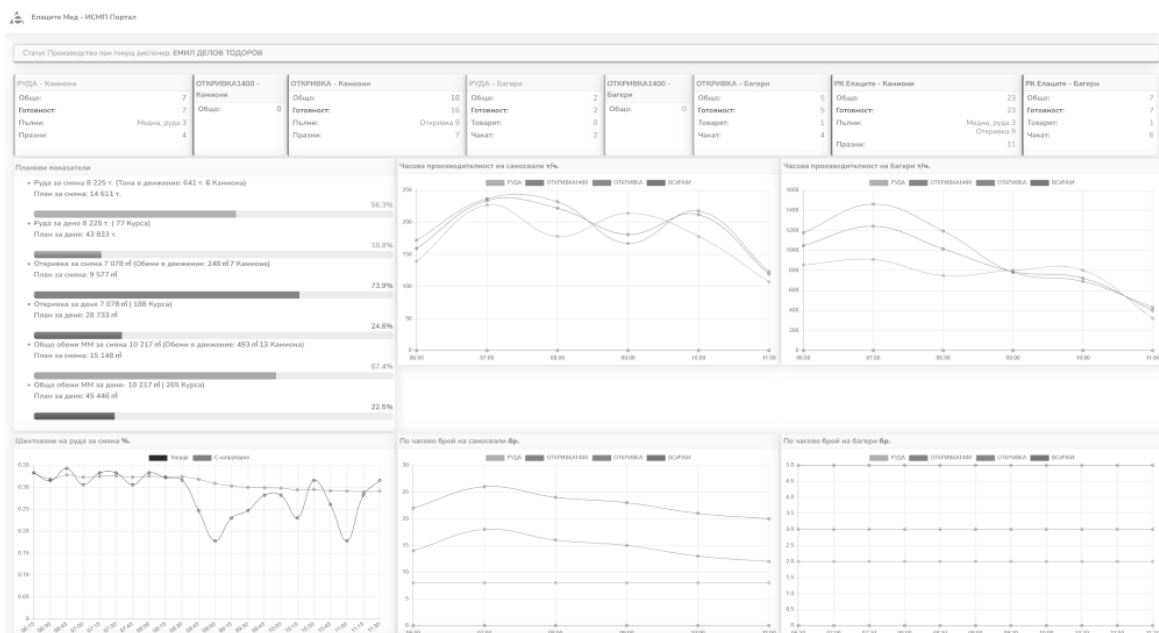
Фиг. 2 Стандартни таблични отчети



Фиг. 3 Сүрови данни

Направения преглед потвърди нуждата за промяна в концепцията и начина на проследимост на производството.

Основните параметри, които бяха зададени като начална точка бяха, по-детайлно проследяване броя на участващите в производството машини, поведението им по време на работа – влизат, излизат в производство, престои и съответно наличие на заместващи ги такива в работа. Поведението на операторите, диспечерите и поддържащия персонал.



Фиг. 4 Информационни табла - дашборди

Моментна информация за канioni			
Канion	Локация	Назначение	Закъснение
2C055	OT_19	ЗАПАД_1340	
2C069	000-1105-O	2B16	
2C084	ПЪЛ_ВТ	2L12	
2C086	OT_55	ЗАПАД_1160	
2C091	OT_229_NE_PPA12	2L11	
2C094	444-1105-O	2B12	
2C098	ЗАПАД_1340	2B16	
2C102	OT_127	ЗАПАД_1340	
2C103	OT_55	2B19	
2C104	OT_36_NE_PPA14	2B15	
2C105	АВТОМИВКА	2B15	АВТОМИВКА
2C107	OT_228	ЗАПАД_1340	
2C109	000-1105-O	ЗАПАД_1340	
2C111	КЕТ-3	КЕТ-3	
2C113	ЗАПАД_1340	2B12	
2C114	КЕТ-3	КЕТ-3	
2C115	OT_247	ЗАПАД_1300	
2C117	OT_19	ЗАПАД_1340	
2C118	OT_228	ЗАПАД_1340	
2C119	043-965-38P	2B15	
2C120	OT_247	2B18	
2C121	КЕТ-3	КЕТ-3	
2C122	OT_127	2B16	
2C123	OT_272_NE_PPA11	2B15	

Производство по багери, РП и Канioni									
Багер ММ	РП	Курсове	Тона.т.	Обем, м³	Тразст, м	Ca, %	Клм	От	В
Багер Багер Опашка Товар									
2012	Откривка	ЗАПАД_1300-2	214	82	2334	0	1	3	1
2012	Откривка	ЗАПАД_1340-11	1222	451	2923	0	1	3	1
2012	Откривка	ЗАПАД_1340-45	4722	1802	2874	0	1	3	1
2015	Руда	КЕТ-1	1	107	41	3834	0.3852	1	1
2015	Руда	КЕТ-3	32	3418	1305	2933	0.3852	1	1
2016	Откривка	ЗАПАД_1300-1	111	41	2533	0	2	2	0
2016	Откривка	ЗАПАД_1340-50	5377	1984	2936	0	2	2	0
2018	Откривка	ЗАПАД_1300-13	1444	533	2558	0	2	2	0
2018	Откривка	ЗАПАД_1300-4	444	164	2912	0	2	2	0
2018	Откривка	ЗАПАД_1340-31	3385	1249	2900	0	2	2	0
2018	Откривка	ЗАПАД_1340-14	1556	574	3013	0	2	2	0
2019	Руда	КЕТ-1	1	107	41	3675	0.28	0	2
2019	Руда	КЕТ-3	25	2670	1019	2803	0.1780	2	0
2019	Руда	КЕТ-3	21	2243	856	2831	0.28	0	2
2011	Откривка	ЗАПАД_1160-7	261	96	3193	0	1	1	0
2012	Вътрешни	ПЪЛ_ВТ	11	375	143	198	0	1	0
Тотал									
Багер РП									
Обем, м³									
2012	ЗАПАД_1300	82							
2012	ЗАПАД_1340	2253							
2015	КЕТ-1	41							
2015	КЕТ-3	1305							
2016	ЗАПАД_1300	41							
2016	ЗАПАД_1340	1984							
2018	ЗАПАД_1300	697							
2018	ЗАПАД_1340	1823							
2019	КЕТ-1	41							
2019	КЕТ-3	1875							
2011	ЗАПАД_1160	96							
2012	ПЪЛ_ВТ	143							

Copyright © Elutabre med.com 2022

Фиг. 5 Кратко обобщение на производство

Подготвена беше отделна сървърна машина обслужваща новата система, с цел оптимизиране на ресурсите и подsigуряване на достатъчна гъвкавост в работата на

системата. По време на разработката се спазваха основните принципи и правила за генериране и презентирание на графичните информационни табла, а именно:

- Показване на данните без изкривяване
- Да накара потребителя да мисли за информацията вместо за данните
- Представят много числа в малко пространство
- Правят съгласувани големи масиви от данни
- Да насърчава окото да сравнява различни данни
- Разкриват данните на няколко нива на детайлност, от общ преглед до фината структура

Първоначално направените разработки на дашбордите – Фиг. 4. и информацията, която показват бяха презентирани и одобрени от ръководството.

Това, което се виждаше а и като основна цел, е с един поглед да се разбере състоянието на производствения процес, степента на изпълнение на плановите показатели, както и кратка информация за текущия добив – Фиг. 5. За служител не работещ пряко с диспечерската система, стана ясно как върви производството, близката локация, до която се намира даден самосвал, назначение и състояние. На този етап данните започнаха да предоставят информация.

Като една от основните цели на фирмата, непрекъснато подобряване във всеки един аспект за осигуряване на устойчив добив и развитие, както и постоянно информационно подсигуряване на персонала, това беше изпълнено.



Фиг. 6 Корпоративно мобилно приложение

Работейки към цялостно дигитализиране на работния процес, постигане на пълно информационно подсигуряване и информираност на персонала, разработените информационни табла бяха интегрирани и в корпоративното мобилно приложение АСМО Мобайл – Фиг. 6. Така всеки един служител ползвайки приложението заедно с информационните табла, получава пълна информираност за текущата ситуация в рудничния комплекс.

Поради големия интерес и полезност на предоставения набор от диаграми и таблична информация, с цел доразвиване и подобряване работа на таблата се започна работа по въвеждане на методи за анализ на данните. С тяхна помощ ще бъде възможно предоставяне на съвети на диспечера или потребителя, който наблюдава, за подобряване на протичането на производствения процес, както и постигната оптимизация до момента и след прилагане на промени.

Ще бъде интегрирана и възможност за проследяване на процесите стъпка по стъпка, започвайки от глобалната „картина“ към все по-големи детайли и дълбочина на данните.

Постигнати резултати

След въвеждане на системите Dispatch® и Provision® беше значително подоброено управлението на подаваната минна маса и по специално добиваната руда, повишена производителността на машините както и не на последно място повишена и безопасността на хората. С допълването на двете системи, чрез подобряване на отчетността и анализа на постъпващите данни, доведе до подобряване на т.нар. разбиране за протичане на производствения процес, визуализиране на скритите за общото наблюдение параметри, уплътняване и по ефективно използване на работното време и информираността на ръководството.

Перспективи

Настоящата световна нестабилност на световната икономика налага нуждата от все по-детайлно оптимизиране на производствен процес и въвеждане на нови методи за постигане на целите. Използването на възможностите на съвременните информационни технологии, способността им да доставят все по-добра и стабилна информация налага тяхното все по-мощно използване в минната промишленост. Със сериозния си набор от данни - информация, които Dispatch® и Provision® предоставят, създадените инструменти и условия за презентиране на тези данни, ангажираността на ръководството и служителите на Елациите-мед към постигане на все по-добри резултати ще доведе и до постигане по-високи резултати.

Заключение

Внедряването на системи за визуално представяне на данните постъпващи от производствен процес и трансформирането им чрез графични и визуални инструменти, неимоверно спомага както за по-доброто обзорно проследяване на процеса, оптимизирането му и подобрява информираността на хората работещи с информацията.

Библиография

Основни функционалности на Dispatch® и Provision® - Modular Mining Systems, inc., USA
Интернет, езици за програмиране и технологии и библиотеки за визуализиране на данни.

АСМО МОБАЙЛ – СИЛАТА НА ИНФОРМАЦИЯТА ПРЕДОСТАВЕНА НА МОБИЛЕН ТЕЛЕФОН В РЕАЛНО ВРЕМЕ

инж. Младен Недков
Email: m.nedkov@ellatzite-med.com

РЕЗЮМЕ

Новото хилядолетие започна с дигитална революция и трансформации към Industry 4.0. Минната индустрия усилено възприема всички нови технологии и идеи. Разрастващата се индустриална автоматизация постави таблетите, тъч екраните, компютрите и контролерите в ръцете ни, но изглежда, че мобилният телефон остава слабо ангажиран с всички дигитални процеси.

Елаците-Мед АД, като иновативна компания стремяща се към дигитализация на цялостния производствен процес, взе решение да използва тези устройства, като подходяща информационна система за всички нейни служители, работещи на терен. С идеята да предоставим цялата текуща информация на мобилния телефон ние комбинирахме данните от автоматизираното управление на минното производство, минното планиране, сондирането и взривяването, наблюдението на работната среда, маркашдерските дейности, геоложките и други. В добавка, цялата тази информация е базирана на текущото местоположение на служителят, което се взема от мобилния телефон.

Ние ясно осъзнаваме, че тези устройства са основният носител на данни за повечето хора и вярваме, че можем да постигнем повече с тях.

Въведение

Медно-порфирното находище „Елаците“ се намира в южната периферия на западната Балканската металогенна структурна зона, близо до Средногорската зона.

Рудник „Елаците“ е един от най-големите функциониращи открити медни рудници на Балканския полуостров.

Количеството дигитални нововъведения през последното десетилетие, а и няколкото награди за иновации в минния бранш, които „Елаците-Мед“ АД получи, ни дават още повече увереност, че правилният път за развитие на услугите и дейностите в компанията е, чрез реализиране и внедряване на все повече нови цифрови решения, поставени във всички операционни системи, платформи и операционни системи.

Така, през 2020 година се стигна до решение за реализиране на мобилно, широко платформено приложение, базиращо се на наличната информация в платформата за AutoCad – АСМО Модул, която служи за обмяна на информация между производствено-техническите отдели и акумулира цялата производствена информация в единна среда. Новото приложение получи наименованието АСМО Мобайл.

Разбира се, новото приложение трябваше да събере и предостави на мобилния телефон и данни от други производствено-оперативни системи, като всичко се представя в реално време, с актуални данни.

Архитектура на комуникацията и дизайн на приложението

За събиране на информацията от отделните системи и акумулирането им в подходящ формат за показване на мобилния телефон е инсталиран специализиран сървър в домейн средата на „Елаците-Мед“ АД. Прочитането на данните е в реално време и не се правят даннови записи на ново място, освен в случаите, когато се налага текущата информация да се сравнява с предишни стойности. Мобилното приложение осъществява връзка само и единствено с централния сървър.

Единственият начин да се достъпи централният сървър на приложението е връзката през криптиран VPN тунел, потребителски ориентиран с стриктно маршрутизиран комуникационен трафик от и до централният сървър.



Фиг. 1. Наблюдение на производствените резултати на терен с помощта на АСМО Mobile

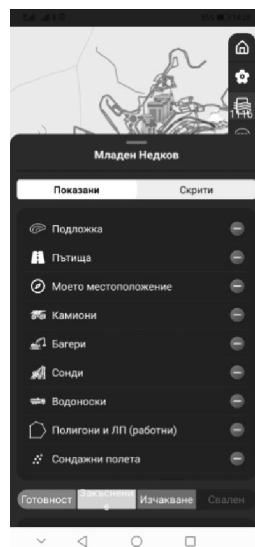
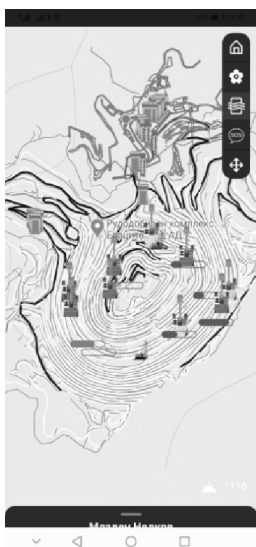
Управление на правата за достъп до данни

Достъпът на всеки, от използващите приложението, потребители, се разрешава, след като се извърши проверка на телефонния номер на потребителя и се постави специален идентификатор, който се предоставя при инсталиране на апликацията АСМО Мобайл. Не се изисква никаква потребителска намеса за оторизация на правата. В случай, че се направи опит за неоторизиран достъп до горепосочения сървър и не се изпълни искания алгоритъм за достъп, то такъв се отказва.

Предлаганите данни в приложението имат разнопосочен характер и различна целева група от ползватели, за това, се налага персоналното управление на възможните за получаване данни за всеки един от служителите.

Разработване на средата за визуализация

Въпреки че, съвременните SMART мобилни устройства разполагат с достатъчно мощни процесори, графични адаптери и дисплеи, целият обмен на информация трябва да бъде съобразен с капацитета за пренос на данни от мобилната мрежа и минималната хардуерна осигуреност на видовете устройства, които се предоставят на служителите ни. Затова, изобразяването на комплексните AutoCad файлове се смята за подходящо да бъдат трансформирани във формат JSON, размерът на който е значително по-малък и лесно се изчертава от графичния процесор на преносимото устройство. Преобразуването на файловете от формат във формат се прави от централният сървър, при заявка за получаване даден графичен файл. Подробността на оригиналните файлове е редуцирана до изискуемата и нужна информация, като нашите инженери и специалисти направиха опростяване на файловете, чрез управлението на видимите слоеве за JSON трансформацията. Приложението успешно визуализира както една подложка, така и няколко подложки с различна производствена, инфраструктурна и друга информации.



Фиг. 2. Основен изглед на приложението Фиг. 3 Изглед на потребителско меню

Като основна подложка за работа на приложението се използва Google maps, заедно с всички възможни изгледи в него. По подразбиране се изобразява и маркшайдерският модел на обекта, като в приложението може да се замени първоначалният модел за изобразяване. Освен това, от диспечерска система се извеждат и текущите данни за пътната карта, която се използва за управление и оптимизация на производственият процес.

За да може да се получи само нужната информация, на потребителят се предлага включване и изключване на различните модели. Избраните за използване се запазват и при следващото пускане на софтуера се изобразяват автоматично.

В средата на АСМО Мобайл не е предвидена и разработена възможност за редактиране на получаваната информация, нито пък е добавена и минимална функционалност на CAD среда с възможност за измерване на разстояние, наклон и др.

Поради голямото количество от данни, които могат да бъдат използвани в приложението, интерфейсът му предлага възможност за избор на наблюдаваните обекти. Включването и изключването на наблюдаеми обекти става лесно през интуитивното графично меню, чрез плъзгане на ляво или дясно на ON/OFF плъзгач за конфигурирания обект.

Позициониране върху моделите

Използването на GPS позиционирането от мобилния телефон е ключово за получаване на точната информация за дейностите в една работна зона, както и за наблюдение на работата на машинния парк. За това, приложението АСМО Мобайл използва данните за позициониране, които апарата предоставя от вътрешният си GPS, като позиционира и фокусира приложението директно в локацията, където се намира потребителят. Чрез използване на реалната позиция на телефона се активират или деактивират информационни услуги, част от приложението, целта на което е увеличаване на хардуерната и енергийна ефективност на самото мобилно устройство.

Връзка към автоматизирана система за управление на добива Dispatch

Чрез използване на данните от автоматизираната система за управление на минното производство Dispatch, в реално време, се изобразяват местоположенията на машините от системата. Освен базовото позициониране, за всяка една машина се извежда и допълнителна

информация за водача ѝ, текущото назначение, скоростта, извършените курсове за смяната и други. Информацията се обновяване на всеки 5 секунди.

Визуализацията на обектите от Dispatch може да бъде разделена както на видими и невидими обекти, така и на обекти в различен работен статус – работещ, аварирал, временно спрял и т.н.

Поради факта, че често се налага да се преразгледа наскоро разгледана машина или обект, в АСМО Мобайл се запомнят последно разгледаните обекти в менюто за бърз достъп.

Доказалата се практичност на линейния модел за изобразяване на производствения процес намери своето място в новото ни приложение, като опростено може да се осъществи генерален поглед върху целия производствен процес, натовареността и ефективността му. Линейният модел основно е разделен по типа на минна маса, която се извозва, а именно руда и откривка.



Фиг. 4,5,6 Данни от Dispatch® в АСМО Мобайл

Връзка към автоматизирана система за прецизна навигация на багери и сонди

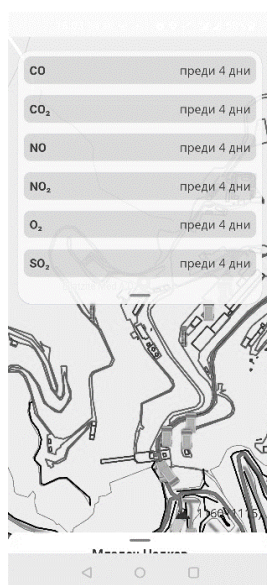
За багерите и сондите и тяхната работа данните в приложението се черпят от приложението ProVision, което извършва прецизната им навигация за сондиране и изгребване. Информацията, която може да се види в АСМО Мобайл е почти цялата, като наличната в приложението за работа на компютър, като включва в себе си данни за текущото положение, дейността, работната зона и други. В мобилното приложение може да се осъществи и директен контрол по изпълнението на технологичните задания за сондиране и изгребване, като при приближаване към работната зона на багер или сонда се вижда графично представяне на процента изпълнение на дадено технологично задание. При увеличаване на мащаба и концентриране върху едно задание, потребителят има възможност да види изпълнението на цялостното технологично задание, както и за всеки един сондаж, заедно с неговата оценка за качествено изпълнение, а за багерите може да се види графична информация за зададения за изземване полигон. Линията на напредък на багера е видима, както и информацията за качествените показатели на минната маса в него.



Фиг. 7,8,9 Данни от ProVision® в АСМО Мобайл

Връзка към автоматизирана система за измерване на качеството на въздуха

През 2019/2020 г. „Елаците-Мед“ АД изгради собствена система за събиране на данни от автоматични уреди за измерване качеството на въздуха в работните зони на рудник „Елаците“. Събраните данни се представят графично и аналитично през специализиран Web портал. Наличието на такива данни ни накара в АСМО Мобайл да изградим и част, която да може да информира потребителите си за качеството на въздуха в работната среда, като в зависимост от правата за ползване на информацията, тя може да бъде представена в числово-графичен вид, или само в графичен вид. За графично представяне се използват зелен, жълт и червен цвят, съответно информиращи за нормална работна среда, среда за работа с повишено внимание или такава, в която не може да се работи. При числово графичното представяне, освен цветовата оценка се представя и информация за резултатите от замерванията. Чрез разработена система за нотификации и съобщения от приложението, дори и в режим офлайн, потребителят е информиран за промяната на качеството на работната среда.



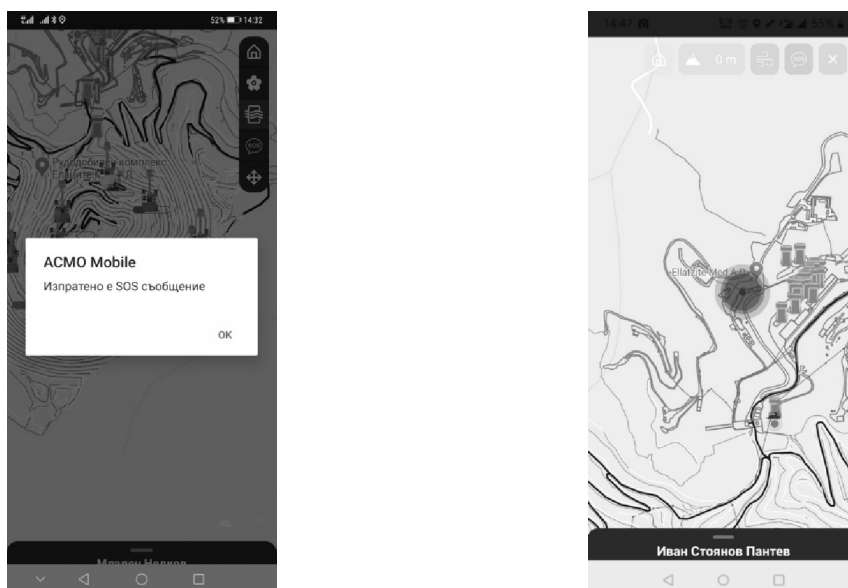
Фиг.10 Графични данни за качеството на въздуха в работната среда в АСМО Мобайл

Функция – информация за машинния парк

Многобройният машинен парк в рудник "Елаците" и техническото му състояние са трудно проследими в реално време, за това мобилното приложение се опитва да поднася на сменния механик информация за промяна на състоянието на машините. Използвайки данните от системите Dispatch и ProVision непрекъснато се търси разлика в настоящо и предишно състояние на машините, като за всяка една промяна сменният механик бива известен с нотификация и/или „изкачващо“ информационно съобщение. Той следва да потвърди получаването на предоставената му нова информация с изрично натискане на бутон в АСМО Мобайл. Информационни съобщения за машинния парк получават само тези от сменните механици, които се намират на територията на рудника. Управлението на достъпа до тази функция цели да ангажира с производственият процес само служители, които са на територията на предприятието и имат ангажименти към управлението на тези производствени процеси.

SOS функция и начин на действие

Предвид още по-функционалното използване на приложението АСМО Мобайл на мобилни телефони вложихме и функционален бутон SOS, целта на който е след 3 секундно задържане да изпрати до централния сървър и предварително изброена група потребители съобщение, с което да информира, че потребител се нуждае от помощ. Като допълнителна информация SOS бутона изпраща и неговото текущо местоположение. Задържането на бутона е с цел уверяване за волевото действие на потребителя по отношение на SOS информацията.



Фиг. 11,12 Изпращане и визуализация на SOS съобщения в АСМО Мобайл

Наблюдение на автоматизирани процеси

От централизираната система PULSE SCADA в предприятието, Елаците-Мед АД реализира web портал, в който да могат да се наблюдават всички автоматизирани производствени тракове. Именно към този портал е създадена връзка в мобилното приложение.

Връзка с динамично табло за наблюдение на производствените процеси

Данните събрани от системите за автоматизирано управление на минното производство имат силата изчерпателно да обобщят историята за работата на целият процес по добив на минна

маса. Но какво по-ценно от наблюдението в реално време на постигнатите сменни резултати? В Елаците-Мед АД създадохме такова информационно табло, което се създава и обновява динамично. Налично е както за десктоп браузъри, така и оптимизирано за мобилни телефони. Точно към второто е добавен линк в приложение АСМО Мобайл, с което се разширява обхвата му и полезността за неговите потребители.

Централизирани съобщения до потребителите

АСМО Мобайл дава възможност за изпращане на централизирани съобщения до потребителите на приложението. Получаването им на всеки мобилен телефон се осъществява, чрез „изскачащ“ прозорец при работещо приложение и като стандартна нотификация при неработещо. В специален прозорец на апликацията потребителят може да се запознае с текущите нови съобщения и исторически получените.

Достъпност на приложението

АСМО Мобайл е разработен за Android 7.0, iOS 10 и по-нови версии операционни системи. И за двете платформи приложението е публикувано в официалните им магазини Google Play store и App Store.

Заклучение

Мобилен бизнес, мобилен офис, мобилен компютър, мобилен телефон, всичко от което има нужда за този ансамбъл е връзка с интернет и всички тези инструменти го правят полезен за неговата компания където и да е. Нужно е обаче, да се създаде и подходящият инструментариум за ефикасна работа в такива условия. Най-бързо формираният се офис е този, който се реализира от мобилният телефон. За това ние, от Елаците-Мед АД ще продължим да разработваме повече и повече мобилни апликации, така че да предоставяме на служителите ни качествена, навременна и точна информация, като използваме най-новите технологии за това.

АВТОМАТИЗИРАНЕ НА УПРАВЛЕНИЕ НА ПРЕРАБОТКАТА НА РУДНИ СУРОВИНИ В ТРОШАЧЕН ЦЕХ В „ЕЛАЦИТЕ-МЕД” АД

инж. Николай Благов, n.blagov@ellatzite-med.com

РЕЗЮМЕ

„Елаците-Мед“ АД е минна компания за открит добив и обогатяване на меднопорфирни и златосъдържащи руди. Находището се намира в землището на гр. Етрополе, отстоящо на 22 km южно и на 2 km западно от шосето, свързващо градовете Етрополе и Златица. След разбиването и извозването на рудничните късове до цех „Корпус едро трошене“ започва преработката на рудни суровини. Предназначението на Корпус за едро трошене е да разтроши до определен размер добитата мед съдържаща руда, преди тя да бъде транспортирана и подадената към цеха за „Средно и ситно трошене руда“.

За улеснение и оптимизиране на процеса се въвежда система за автоматизация и управление на процеса. Посредством внедряване на сензори и системи се осигурява по-надеждна и безопасна работа на персонала в цеха. Резултат от автоматизирането на процеса е постигането на по-добра отчетност и оптимизиране на разхода на енергия за преработката на тон руда.

ABSTRACT

The purpose of initial crushing department of “Ellatzite-Med” is to crush mined copper-bearing ore to a specified size before it is transported and fed to the secondary crushing department.

To facilitate and optimize the process, a process automation and control system is introduced. More reliable and safer work of the personnel in the department is ensured through the implementation of sensors and systems. The result of the automation of the process is the achievement of better accountability and optimization of energy consumption for the processing of a ton of ore.

Въведение

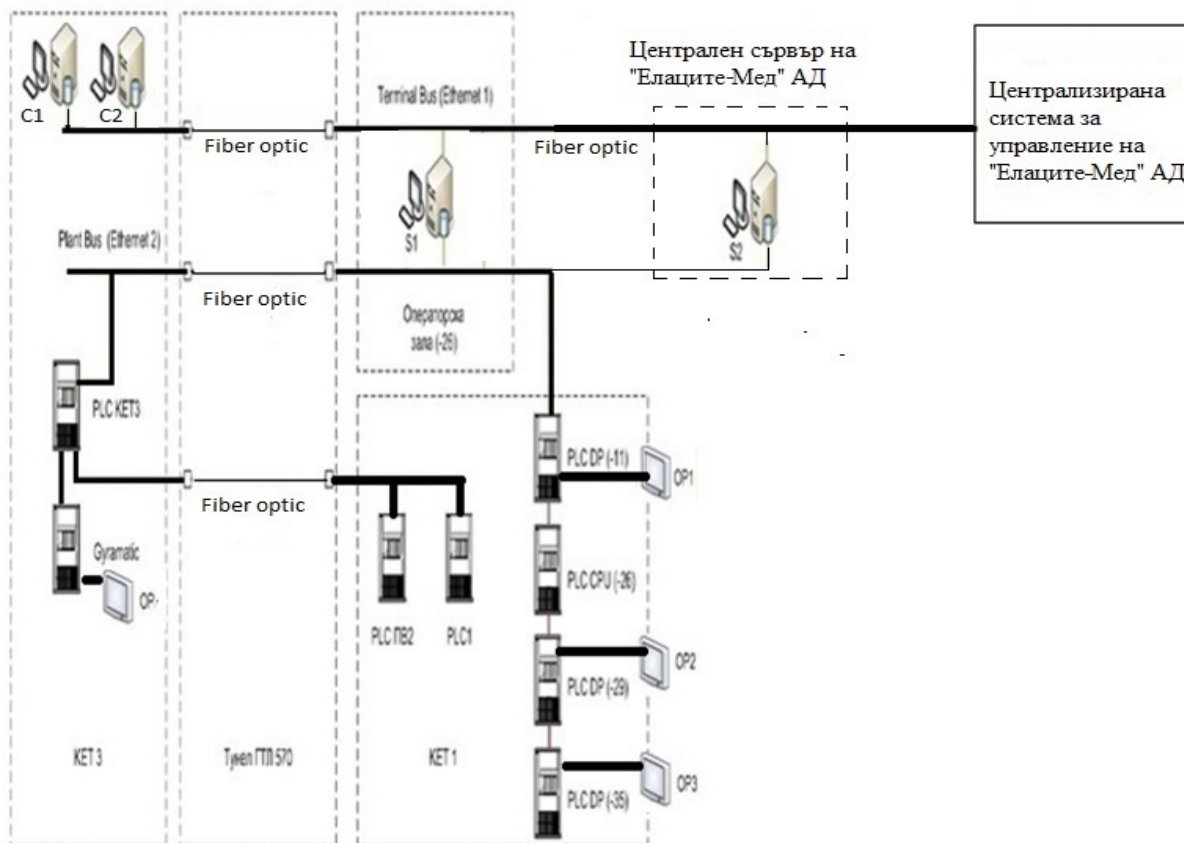
Рудодобивният комплекс на „Елаците-Мед“ АД разполага с цех за едро трошене, състоящ се от два независими корпуса – Корпус едро трошене-1 (KET-1) и Корпус едро трошене-3 (KET-3). Корпусът за едро трошене-3, пуснат в експлоатация през 2008 година, е разположен в чашата на рудника, като транспортирането на преработената руда става чрез лента, минаваща през подземна минна изработка с дължина 570м. Изградена е система за автоматично управление, която служи за управление и на двата независими, но същевременно интегрирани корпуса в една система.

Двата корпуса се управляват чрез система за автоматично управление, която служи за управление и на двата независими, но същевременно интегрирани корпуса в една система. Постепенно през годините се внедряват нововъведения, целящи повишаване на надеждността на системата и едновременно с това, подобряване на контрола над изходящия материал, благодарение на нововъведени прибори за контрол на едрината и влагата.

Реализация на системата за автоматично управление

Системата за управление се реализира чрез два взаимнозаменяеми сървъра – един физически, разположен в операторната зала в KET-1 и един виртуален, инсталиран на централният сървър на Рудодобивния комплекс, както и два индустриални клиентски компютъра, разположени в операторната зала в KET-3. Връзката между двата сървъра е по оптично влакно, което в края на трасето преминава в меден кабел. Структура на системата за автоматично управление е показана на фигура 1, като мрежата за управление е свързана с

централизираната мрежа на „Елаците-Мед“ АД, което позволява данните да бъдат четени и визуализирани в реално време, в системата за контрол и автоматизация на предприятието.



Фиг. 1. Структура на система за управление в цех „KET”

С цел повишаване надеждността и сигурността на работата на системата се използва промишлено мрежово оборудване, изпълнение на фирма „Westermo”, като то е капсуловано в алуминиеви корпуси с клас на защита IP31. Клиентските компютри, работещи в тежки условия са индустриално изпълнение, серия „Aldermín-pico”, които се охлаждат пасивно, а не с вентилатори. Те разполагат с алуминиев корпус, с клас на защита IP20. Софтуерната платформа, чрез която е изградена SCADA системата е Simatic WinCC, версия 7.5.

Целта на изграждането на KET-3 е скъсяване на транспортните разстояния и намаляване разхода на дизелово гориво за автосамосвалите в рудника. Реализацията на системата за управление включва два самостоятелни трака. Първият трак е оборудван с челюстно-конусна трошачка „KRUPP”. Дозирането на рудата и подаването към трошачката се извършва чрез пластинчат захранвач, управляван от честотен инвертор, като неговата комуникация с главния процесор се извършва посредством система от аналогови и цифрови входове и изходи. Вторият трак е окомплектован с трошачка „ALLIS”, като материала, излизащ от нея, се дозира от вибрационни захранвачи, управлявани отново от честотни инвертори. Транспортирането на рудата се осъществява към претоварен възел, като всички параметри по процеса на транспортиране на рудата се следят посредством датчици и сензори. Трошачка „KRUPP” е пусната в експлоатация с пускането на KET-3, докато трошачка „ALLIS” е работила в несъществуващия вече KET-2 и е преместена в новия корпус при неговото изграждане. Оригинално тя е пусната в експлоатация през 1996 година и за нейното управление е ползван контролер тип “ASR”, производство на фирма „Metso”. С

годините на експлоатация този контролер е силно амортизиран и не подлежи на ремонт, което налага подмяната му с контролер, снабден с централен процесорен модул S7-300. Допълнително е разработен алгоритъм за регулиране на положението на подвижния конус според натоварването на трошачката, което предпазва от аварийни ситуации като попадане на недробим материал в трошачната камера.

Обобщени данни		
Статус камера	Работи нормално	
Статус калибрация	Текущо	
Максимален размер	273	mm
Преминали 80% PSD	112	mm
Преминали 50% PSD	70	mm
Класа размер 1, 2	10	%
Класа размер 1, 2, 3	14	%
Серия сита	Кумулативен	Класа
Размер 1 1028 mm	100 %	7 %
Размер 2 180 mm	93 %	3 %
Размер 3 150 mm	90 %	4 %
Размер 4 120 mm	86 %	86 %

Фиг. 1. Структура на система за управление в цех „KET”

Последните изисквания за натрошената руда след трошачките в цеха са не повече от 10% от нея да преминава размер над 150mm. За по-добър контрол на размера на изходящата руда е въведен нов прибор – „VisioRock™ Compact system” на фирма „Metso”, резултатите от който са показани на фигура 2. Системата представлява 1 камера със софтуер за измерване разпределението на размера на рудните късове след преминаването през отвора на трошачката. След анализ на резултатите от зърнометричния анализ могат да се направят изводи за това доколко са износени облицовките на трошачните конуси и дали е необходимо регулиране на трошачния отвор и положението на подвижния конус.

Управлението на трошачка “KRUPP” е чрез друг контролер и процесорен модул S7-300, като всички параметри на трошачката се визуализират и следят в системата за управление. В зависимост от това кой от двата трака е избран като основен се извършва регулиране на потоците чрез честотно управляеми инвертори с цел да не се надвишава капацитета на товароносимост на лентата, преминаваща през подземната минна изработка. Процесът на управление на KET-3 е изцяло автоматизиран. Управлението се извършва чрез програмируеми логически контролери. Връзката между отделните контролери става чрез локална полева мрежа – Profibus DP, а тази през подземната минна изработка – чрез оптична мрежа.

Основните модули използвани за управлението на KET-3 са:

- централен процесорен модул S7-300;
- DI(цифрови входове);
- DO(цифрови изходи);
- AI(аналогови входове);
- AO(аналогови изходи);
- CP – комуникационен процесор за мрежова връзка;

- IM(интерфейсен модул) за комуникация между CPU и децентрализирана периферия в отделните табла;

- OLM(Оптичен трансмитер) комуникация през оптичен кабел.

Локалната система за автоматизация в КЕТ-1 е идентична. В рамките на системата за автоматизирано управление са обхванати всички машини и агрегати, а именно: конусна трошачка ККД, маслена станция на ККД, захранвач ПП1, захранвач ПП2, конусна трошачка КРД1, маслена станция на КРД1, конусна трошачка КРД2, маслена станция на КРД2, транспортна лента ГТЛ 1 и транспортна лента ГТЛ 2.

Конфигурацията на системата е SIMATIC S7 система и децентрализирана периферия, включваща входно – изходни модули и тъч скрийн панели за визуализация.

При реализацията на системата за автоматизация се използват честотни инвертори за управлението на двата пластинчати захранвачи, като благодарение на тях се регулира натоварването на транспортните ленти, като комуникацията с тях се извършва чрез PROFIBUS DP, а за управление на самите транспортни ленти се използват вградени устройства за контрол и управление на електродвигатели тип SIMOCODE. Това е апаратура за контрол и управление на ел. задвижвания от различен тип с възможност за пренос на данни чрез PROFIBUS DP.

Други честотни инвертори се използват за маслосмазващите помпи към трошачките в цеха. Благодарение на тях се постига плавно регулиране на дебитите на маслата, а също така се удължава живота на помпите, тъй като допреди автоматизирането на цеха помпите са работили на максимални обороти, като регулирането на дебитите е правено през разтоварващи кранове.

Пускането, управлението и спирането на трошачно-транспортната система се извършва от оператор, намиращ се в един от двата пулта за управление. Въпреки немалката отдалеченост между операторските станции, надеждността на връзката е гарантирана от оптична комуникация. Възможността за работа, от която и да е станция, допринася за максимално гъвкаво управление на технологичния процес.

На операторските станции се извежда цялата информация за параметрите на технологичния процес и състояние на оборудването. Операторът получава и допълнителна информация от видео наблюдението на процеса.

За отчетността на обработеното количество рудна маса през трошачните агрегати е важно да бъде определено количеството на допълнителната влага към рудата. За целта в цеха е внедрен нов уред – влагоанализатор тип TBM 230, производство на фирма "Scantech". Той е монтиран върху гумено-лентов транспортър „ГТЛ-2“, за да може да обхване максимално количество от преминалата рудна маса. Принципът на действие на влагоанализатора е следният – предавател, разположен от горната страна на транспортъра предава микровълни, преминаващи през материала и постъпващи в приемник, разположен от долната страна на транспортъра. Измерването на фазовото изместване и затихването позволява да бъде изчислена влажността на материала. Основни характеристики на влагоанализатора са:

- изчислява влажността на целия обем от рудна маса;
- може да изчисли влагата в различно количество материал;
- не е нужен контакт с транспортъра или материала;
- може да изчислява влагата в материал с височина до 600 mm.

Чрез автоматизирането на трошачния процес се цели:

- повишаване надеждността на работния процес;
- подобряване на комуникацията между отделните технологични подобекти и обмен на текуща информация;
- по-добра отчетност на реалното количество преработена минна маса;
- оптимизиране на качеството на изходния продукт от цеха.

Във всеки един момент, за всеки механизъм, може да се види състоянието за готовност за пускане на съоръжението. Системата за визуализация показва всички алармени състояния, което спомага за бърза локализация и по-ефективни ремонтни дейности.

При автоматизирането на цех КЕТ са използвани датчици и сензори, производство на водещи в бранша фирми, за измерване на температури, налягания, нива и други.

Критерии

Поставените критерии към системата за управление, които определят концепцията за нейното изграждане са:

- пълна йерархия на управление, състояща се от три нива: контролно - измервателна апаратура, управляващо оборудване(програмируеми контролери) и операторски станции;
- индустриална мрежа за данново обвързване на основните нива на системата;
- технологично –ориентирано разпределение на системите за управление;
- логическо управление на основните технологични агрегати;
- осигуряване на безаварийно и безопасно водене на процесите от операторите.

Заключение

Въведената автоматизирана система за управление на КЕТ даде следните резултати:

- стабилизиране на процеса чрез регулиране и оптимизиране на технологичните параметри;
- спомагане за повишаване на производителността и качеството на работния процес;
- обединяване на информацията на ниво операторско управление;
- синхронизиране на работата на отделните технологични съоръжения;
- улесняване на воденето на процеса от операторите;
- повишаване на надеждността на съоръженията;
- подобряване на здравословните условия за труд, сигурността и безопасността;
- намаляване на разходите за резервни части и аварийни престои;
- комуникация между отделните технологични подобекти и обмен на текуща информация;
- по-добра отчетност на информацията за рудата за даден период от време;
- намаляване на специфичния разход на енергия за преработка на тон руда.

НАДЕЖНОСТ НА РУДНИЧНИ ПОДЕМНИ УРЕДБИ С ОТЧИТАНЕ НА ТЕХНИЧЕСКОТО ОБСЛУЖВАНЕ

Ромео Александров
Минно-геоложки университет „Св. Ив. Рилски” гр. София, 1700
E-mail: romeo.alexandrov@abv.bg

РЕЗЮМЕ

Представен е математичен модел на руднична подемна уредба с отчитане техническото обслужване на уредбата. Полученият модел осигурява възможност да се изследват и решават задачи за определяне на условията на безопасно функциониране на рудничната подемна уредба.

***Ключови думи:** руднични подемни уредби, техническо обслужване, надеждност и безопасност на функциониране.*

RELIABILITY OF MINE HOISTS WITH MAINTENANCE REPORTING

Romeo Alexandrov
University of Mining and Geology „St. Iv. Rilski” Sofia, 1700
E-mail: romeo.alexandrov@abv.bg

ABSTRACT

A mathematical model of a mine hoisting system is presented, taking into account the technical maintenance of the system. The resulting model provides an opportunity to investigate and solve tasks for determining the conditions of safe operation of the mine hoisting equipment.

***Keywords:** mining hoists, maintenance, reliability and operational safety.*

Въведение

Рудничните подемни уредби (РПУ) се използват за транспорт на хора, машини и материали при подземния добив на полезни изкопаеми. На този етап от развитието на науката и промишлените технологии няма алтернативни решения, които биха могли да бъдат конкурентноспособни на РПУ по показателите за производителност, икономичност, безопасност и оказване влияние на околната среда. Заедно с това, резултатите от многогодишната експлоатация на РПУ у нас и в чужбина показват, че тяхната експлоатация е също водена с различни видове аварии и откази. Престоят на РПУ, поради аварии или отказ стават причина за нарушаване на производствения процес за подземен добив на полезни изкопаеми и рязко влошават икономическите показатели на предприятието. И това е така, защото за разлика от друго технологично обзавеждане, за РПУ няма резервна уредба. Ето защо за осигуряване на висока надеждност и безопасност на работа на РПУ е актуална задача за изследване и решаване и днес. Оценката на надеждността на рудничните подемни уредби се прави с оглед разкриване на закономерностите за появата на откази, които водят до опасни състояния.[2] Също така е свързана с времето за аварийен престой и възстановяване след настъпване на аварийно събитие. В правилниците по техническа безопасност в минната промишленост [3],[4] са регламентирани изискванията за периодичността и обема на техническото обслужване на РПУ.

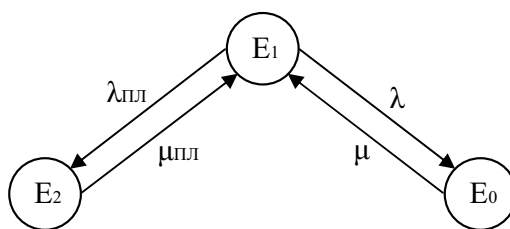
Модел на РПУ - възстановима и профилактируема система

РПУ, като възстановима и профилактируема система [1] във всеки момент от времето е възможно да се намира в едно от следните три състояния:

- E_1 – работоспособно състояние;
- E_0 – аварийен престой и възстановяване;
- E_2 – планов престой при профилактично обслужване и ремонт.

За възстановими и профилактируеми системи на фиг. 1 е представен граф на преходите от едно състояние в друго, като са приети следните означения:

- λ и $\lambda_{пл}$ – интензивност на аварийните и плановите преходи, които превеждат системата от състояние E_1 , съответно в състояние E_0 или E_2 ;
- μ и $\mu_{пл}$ – интензивност на възстановяване – отстраняване на аварийни откази и на планово техническо обслужване и ремонт, които превеждат системата, съответно от състояние E_0 или E_2 в състояние E_1 .



Фиг. 1 Граф на състоянията на възстановимата и профилактируема система

Системата диференциални уравнения, която описва вероятностните състояния, отговарящи на графа от фиг. 1 е следната:

$$\begin{aligned} P_1'(t) &= -(\lambda + \lambda_{пл})P_1(t) + \mu P_0(t) + \mu_{пл} P_2(t) \\ P_0'(t) &= \lambda P_1(t) + \mu P_0(t) \\ P_2'(t) &= \lambda_{пл} P_1(t) - \mu_{пл} P_2(t) \end{aligned} \quad (1)$$

Ако се приеме, че в момента $t=0$ системата е работоспособна, тогава ще бъдат в сила следните начални условия:

$$\begin{aligned} P_1(0) &= 1 \\ P_0(0) &= 0 \\ P_2(0) &= 0 \\ P_1(t) + P_0(t) + P_2(t) &= 1 \end{aligned} \quad (2)$$

$$P_1(t) = \frac{\mu\mu_{пл}}{\mu\mu_{пл} + \lambda\mu_{пл} + \mu\lambda_{пл}} + \frac{(\mu + K_1)}{K_1(K_1 + K_2)} \exp K_1 t + \frac{(\mu + K_2)(\mu_{пл} + K_2)}{K_2(K_2 - K_1)} \exp K_2 t \quad (3)$$

$$P_2(t) = \frac{\lambda\mu_{пл}}{\mu\mu_{пл} + \lambda\mu_{пл} + \mu\lambda_{пл}} + \frac{\lambda_{пл}(\mu + K_1)}{K_1(K_1 + K_2)} \exp K_1 t + \frac{\lambda_{пл}(\mu + K_2)}{K_2(K_2 - K_1)} \exp K_2 t \quad (4)$$

$$P_0(t) = \frac{\lambda\mu_{пл}}{\mu\mu_{пл} + \lambda\mu_{пл} + \mu\lambda_{пл}} + \frac{\lambda(\mu_{пл} + K_1)}{K_1(K_1 + K_2)} \exp K_1 t + \frac{\lambda(\mu_{пл} + K_2)}{K_2(K_2 - K_1)} \exp K_2 t \quad (5)$$

където:

$$K_{1,2} = 0.5 \left[-(\lambda + \lambda_{пл} + \mu + \mu_{пл}) \pm \sqrt{(\lambda + \lambda_{пл} + \mu + \mu_{пл})^2 - 4(\mu\mu_{пл} + \lambda\mu_{пл} + \mu\lambda_{пл})} \right]$$

Изразите (3), (4) и (5) дават решенията на диференциалните уравнения (1) за

началното състояние на системата, определено от условията (2).

Колкото е по-голям интервалът от време между отказите в сравнение с времето за възстановяване, толкова по бързо системата влиза в стационарен режим.

За стационарен режим са в сила следните зависимости:

$$P_1 = \frac{\mu\mu_{пл}}{\mu\mu_{пл} + \lambda\mu_{пл} + \mu\lambda_{пл}} = K_r$$

$$P_2 = \frac{\lambda\mu_{пл}}{\mu\mu_{пл} + \lambda\mu_{пл} + \mu\lambda_{пл}} = q_{пл}$$

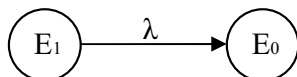
$$P_0 = \frac{\lambda\mu_{пл}}{\mu\mu_{пл} + \lambda\mu_{пл} + \mu\lambda_{пл}} = q_{ав}$$

Модел на РПУ за определяне на вероятността за безотказна работа

Следва да се отбележи, че в този случай вероятността за работоспособно състояние $P_1(t)$ системата не се явява вероятност за безотказна работа $P(t)$. За определяне на последната е необходимо да се измени графа на състоянията от фиг. 1 по такъв начин, при който са невъзможни следните преходи:

- от състояние E_0 в състояние E_1 т.е. $\mu=0$;
- от състояние E_2 в състояние E_1 т.е. $\mu_{пл}=0$;
- от състояние E_1 в състояние E_2 т.е. $\lambda_{пл}=0$.

При тези условия системата става непрофилактируема и невъзстановима, при което състоянието E_0 се явява „поглъщащо“. В този случай вероятността за работоспособно състояние $P_1(t)$ системата вече се явява и вероятност за безотказна работа $P(t)$. Графът на състоянията, описващ системата ще има вида, показан на фиг. 2



Фиг. 2. Граф на състоянията за определяне на вероятността за безотказна работа

На графа от фиг. 2 съответства следната система уравнения за определяне вероятността на състоянията:

$$\begin{aligned} P_1'(t) &= -\lambda P_1(t) \\ P_0'(t) &= \lambda P_1(t) \\ P_1(t) &= 0 \end{aligned} \tag{6}$$

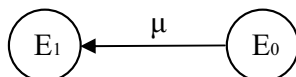
Системата уравнения (6) при начални условия (2) има следното решение:

$$P_1(t) = P(t) = -\exp(-\lambda t)$$

Модел на РПУ за определяне на вероятността за възстановяване

За определяне на вероятността $P_2(t)$, че системата ще бъде възстановена за време t , състоянията E_1 и E_2 се разглеждат като поглъщащи, т.е. $\lambda=\lambda_{пл}=\mu_{пл}=0$

Графът на състоянията при тези условия е показан на фиг. 3



Фиг. 3. Граф на състоянията за определяне на вероятността системата да бъде възстановена за определено време.

Графа на състоянията от фиг. 3 се описва със следната система уравнения:

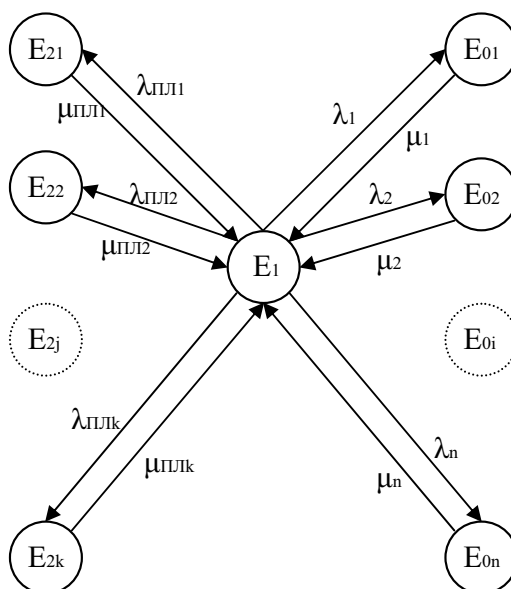
$$\begin{aligned} P_1'(t) &= \mu P_0(t) \\ P_0'(t) &= -\mu P_0(t) \\ P_2'(t) &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

При началните условия: $P_0(t)=1, P_1(t)=0, P_2(t)=0$ системата (7) има следното решение:

$$P_1(t) = v(t) = 1 - \exp(-\mu t)$$

Модел за определяне на надеждността на РПУ

За определяне на надеждността на РПУ елементите на системата се разглеждат, като последователно свързани. Отказът на който и да е елемент води до отказ на цялата система. На фиг. 4 е представен граф на преходите на такава система. В най-общия случай $k \leq n$, тъй като е възможно едновременно да се ремонтират няколко елемента от системата.



Фиг. 4. Граф на състоянията за определяне на вероятността РПУ да бъде възстановена за определено време

Системата диференциални уравнения, описващи възможните преходи при този тип системи е следната:

$$P_1' = -(\lambda_1 + \dots + \lambda_n + \lambda_{ПЛ1} + \dots + \lambda_{ПЛk})P_1(t) + \sum_{i=1}^n P_{0i}\mu_{0i} + \sum_{j=1}^k P_{2j}\mu_{ПЛj}$$

$$P_{0i}' = -\mu_i P_{0i} + \lambda_i P_1$$

$$P_{2j}' = -\mu_{\Pi\Lambda j} P_{2j} - \lambda_{\Pi\Lambda j} P_1$$

Системата диференциални уравнения ще се реши за стационарен режим, при следните начални условия: $P_1=0, P_{0i}=0, P_{2j}=0, P_0+P_1+P_2=1$

При тези начални условия системата диференциални уравнения за стационарен режим има следното решение:

$$P_1 = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i} + \sum_{j=1}^k \frac{\lambda_{\Pi\Lambda j}}{\mu_{\Pi\Lambda j}}} = K_\Gamma$$

$$P_2 = K_\Gamma \sum_{j=1}^k \frac{\lambda_{\Pi\Lambda j}}{\mu_{\Pi\Lambda j}} = q_{\Pi\Lambda}$$

$$P_0 = K_\Gamma \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i} = q_{ав}$$

Заклучение

Чрез теорията на графите са получени модели, които описват надеждността, работоспособното състояние и безотказна работа на РПУ. По такъв начин може да се дава количествена оценка за появата на аварийни събития, които от гледна точка на безопасността, често се явяват опасни. Ето защо тези модели също така дават възможност да се изследват и решават задачи за определяне на условията на безопасно функциониране на РПУ. Получените аналитични зависимости за определяне надеждността на РПУ с отчитане на техническото им обслужване осигурява възможност и условия за управление на безопасната и ефективна работа на тези обекти в минното дело.

Литература

- [1] Макаров М. И., Кърцелин Е. Р. „Надежность шахтных, подземных установок. Дон ГТУ, Донецк, 1996.
- [2] Кърцелин Е. Р. „Математически модели на руднични, подземни уредби, ИК „Св. Иван Рилски“, 2010.
- [3] Правилник по безопасността на труда в подземните въглищни рудници (В-01-01-01), Комитет по енергетика, 1992, Том 1 и 2.
- [4] Правилник по безопасността на труда при разработването на рудни и нерудни находища по подземен начин, Техника, 1971.

ЗА НЯКОИ ПРОБЛЕМИ И ЗАДАЧИ ПРИ ПРЕХОДА ЗА ОБСЛУЖВАНЕ НА ЕЛЕКТРООБЗАВЕЖДАНЕТО ПО ФАКТИЧЕСКО СЪСТОЯНИЕ

доц. д-р Красимир Иванов¹

д-р инж. Николай Минев²

д-р инж. Георги Велев¹

д-р инж. Калин Радлов³

¹ **Технически университет – Габрово**

² **„Асарел - Медет“ АД – Панагюрище**

³ **Университет по строителство, архитектура и геодезия - София**

РЕЗЮМЕ

Обобщени са някои проблеми, присъщи на плановото техническо обслужване на електрообзавеждането (ЕО). Предложен е математичен модел за изчисляване на разходвания ресурс на ЕО под въздействието на определени фактори. Определени са задачите за изпълнение, осигуряващи нормалния преход за качествено обслужване на ЕО по фактическо състояние.

Ключови думи: електрообзавеждане, нормативен ресурс, основни въздействащи деструктивни филтри., обслужване по фактическо състояние.

Надеждността, безопасността и ефективността на функциониране на електрообзавеждането (ЕО) на електроцентрали, подстанции, електрически мрежи и системи зависи от неговото техническо състояние, от условията на експлоатация, количеството и силата на въздействие на редица фактори с различна природа, качество и периодичност на обслужване, образование и професионален опит на специалистите от различните нива на управление на електроенергийната система (ЕЕС) на страната. Техническото състояние на електро енергийното обзавеждане (ЕЕО) се определя от качеството на проектните решения, качеството на производство, количество и качество на предварителните изпитания за проверка на неговата работоспособност и надеждност, но и от правилната организация на системата за техническо обслужване и ремонт (ТОР) на електрообзавеждането (ЕО). Съгласно изискванията на действащите нормативни документи [1,2] се използва системата за планово-предупредителни ремонти (ППР), в които срока и обема за изпълнение при ТОР са строго регламентирани.

При условията на развитие на пазарни отношения в областта на енергоремонта, системата за ППР в редица случаи не осигурява приемането на оптимални решения. Това е свързано с обстоятелството, че предназначението на профилактичните работи не зависи от техническото състояние на конкретна единица ЕО, а това води до необоснована поява на допълнителни материални и трудови разходи.

Ново направление в развитие на системата за ТОР се явява разработването на подходи, основани на индивидуалното наблюдение за реалното изменение на техническото състояние на ЕО в процеса на неговата експлоатация. За тази цел е необходимо да се разработят технически средства за събиране на диагностична информация, а също така и математически методи и модели, позволяващи да се отчетят всички фактори, които оказват влияние на техническото състояние на ЕО. Още по-важна задача в този случай се явява създаването на комплексен метод за определяне на техническото състояние, способен да обедини разностранната диагностична информация и на тази база да се изчислява интегрална количествена характеристика за нивото на техническо състояние. В качеството на такава интегрална характеристика е целесъобразно да се приеме стойността на отработения ресурс [1]. Сравнявайки получените стойности с допустимите граници за неговото изменение е

възможно да се даде обоснована препоръка за необходимостта от извеждане на ЕО за ремонт или за продължаване на неговата експлоатация. Не по-малък проблем се явява задачата за прогнозиране на остатъчния ресурс на ЕО.

Ще се представят определенията за основните термини и понятия, които са необходими за разработването и математическото описание на комплексна методика за определяне на техническото състояние на ЕО на основа получената оценка на остатъчния ресурс:

- ресурс – това е сумарната наработка на обекта (ЕО) от началото на неговата експлоатация до достигане на граничното му състояние [2];
- наработка – продължителност или обем на работа на обекта. Единиците за измерване на наработката обикновено се избира в съответствие с предназначението на ЕО и особеностите на неговата работа (за прекъсвачи се приема брой комутационни цикли; за електродвигатели – брой включвания под напрежение; за силови трансформатори – време на работа, измерено в години; за механично оборудване, редуктори и други кинематични системи за позициониране – време на работа в часове и др.);
- нормативен ресурс R – това е ресурса на ЕО при неговата работа (експлоатация) при конкретни условия на експлоатация;
- частичен (интервален) нормален ресурс R_j – участък (интервал) от наработката при условията на експлоатация на ЕО при нормативни условия;
- нормативен остатъчен ресурс $R_{o,ост}$ – това е ресурса на ЕО, който е възможно допълнително да отработи при нормативно определени условия на експлоатация от момента на неговото изчисляване до момента на достигане на гранично състояние;
- фактически остатъчен ресурс $R_{ост}$ – това е ресурса на ЕО, който може допълнително да се отработи при конкретни експлоатационни условия от момента на неговото изчисляване (определяне) до момента на прехода на ЕО в гранично (пределно) състояние.

Временните единици за наработка се явяват универсални, тъй като например, знаейки честотата на комутациите на прекъсвача, винаги ще бъде възможно да се премине от дискретни (брой пъти) към временни единици за измерване на наработката. При използване на временни единици за измерване на ресурса, то нормативния ресурс ще съответства на определения срок за експлоатация, а фактическия ресурс – на фактическия срок на експлоатация.

При нормативните условия на експлоатация, фактическия ресурс на ЕО се приема равен на нормативния, определен в паспорта на ЕО. При повишена интензивност на действие на експлоатационните фактори, фактическият ресурс на ЕО ще бъде по-голям от установения, а при по-ниска интензивност – по-малък.

В процеса на експлоатация електрообзавеждането е подложено на въздействието на различни експлоатационни фактори, като всеки от тях в определена степен оказва влияние за изменение на неговото техническо състояние.

Приема се следното предположение: При работа на ЕО в реални експлоатационни условия, върху него оказват въздействие N различни експлоатационни фактори, всеки от които количествено се характеризира със стойност X_i (по-нататък в изложението ще се означава като фактор X_i). Факторът X_i е възможно да бъде както някакъв измерваем параметър, така и комплекс от величини, които характеризират природата на изследвания експлоатационен фактор.

Допуска се, че на конкретно ЕО въздейства определен фактор X_i . При увеличение (нарастване) на фактора със стойност ΔX_i , фактическият ресурс на ЕО ще се увеличи n пъти, а при намаляване ще се намали с n пъти. При тези условия е възможно да се определи (изчисли) фактическия ресурс на ЕО в зависимост от изменението на X_i :

$$R = R_0 \cdot n^{\frac{(X_i^* - X_{0i})}{\Delta X_i^*}} \quad (1)$$

където R – фактически ресурс на ЕО при постоянна стойност на фактора X_i ($X_i = const$)
 X_{0i} – нормативна стойност на фактора X_i ;
 $\Delta X_i = const$ – абсолютно отклонение на фактора X_i .

При $X_i = X_{0i}$

ЕО работи при нормативно определените му условия. Зависимост (1) показва фактически отработеният ресурс от ЕО на отработения интервал в обем на нормативно определен ресурс при постоянна стойност на фактора $X_i = const$.

За удобство при изпълнение на изчислителния процес двете страни на израз (1) се разделят на величината R_0 , а числителят и знаменателят на степенния показател в същия израз се разделят на X_{0i} . В резултат на тези операции се получава следния израз за определяне на фактическия ресурс на ЕО в относителни единици:

$$R^* = R_0^* \cdot n^{\frac{(X_i^* - 1)}{\Delta X_i^*}} \quad (2)$$

където R^* – фактически ресурс на ЕО в относителни единици при постоянна стойност на фактора X_i^* ;
 X_i^* – относителна стойност на i – я фактор или кратност на i – я;
 ΔX_i^* – относително отклонение i – я фактор;
 $R_0^* = 1$ о.е.

За стойността на n е възможно да се приеме всяко число, освен нула. Тогава при определяне на стойността на ΔX_i или ΔX_i^* трябва да се изходи от приетата стойност за n . За удобство при математическите преобразувания се приема, че $n=e$ (натурално число). При това условие израз (2) приема следния вид

$$R^* = e^{\frac{(X_i^* - 1)}{\Delta X_i^*}} \quad (3)$$

Формула (3) е в сила за случаите, при които върху ЕО оказва въздействие само един единствен фактор X_i^* . Ако на ЕО оказват въздействие (влияние) N , то за определянето на относителния фактически ресурс е необходимо да се използва експлоатационни фактори принципа на суперпозицията. Съгласно този принцип се приема, че въздействието на N експлоатационни фактори върху ЕО на зависят един от друг. Ето защо формула (3) с отчитане на влиянието на N експлоатационни фактори на ЕО е възможно да се представи в следния вид

$$R^* = \prod_{i=1}^N R_i^* = \prod_{i=1}^N e^{\frac{(X_i^* - 1)}{\Delta X_i^*}} \quad (4)$$

където $i = 1, 2, \dots, N$ – брой на експлоатационните фактори, които оказват влияние на фактическия ресурс на ЕО;

R_i^* – относителна стойност на фактическия отработен ресурс от ЕО при условие, че върху ЕО въздейства само един експлоатационен фактор X_i .

Тъй като основата на степенния израз в (4) е еднаква за всички множители и е равна на

$e = 2,718 \dots$, то израза за определяне на относителния фактически ресурс на ЕО е възможно да се запише в следния вид

$$R^* = e^{\sum_{i=1}^I \frac{(X_i^* - 1)}{\Delta X_i^*}} \quad (5)$$

Всички основни експлоатационни фактори, които въздействат на ЕО, по своята физическа природа е възможно да бъдат разделени на четири групи:

- топлинни (свързани с изменение напрегнатостта на електрическото поле);
- механични (свързани с механични повреди);
- химически (свързани с протичането на химически процеси в материалите на ЕО);
- електрически (свързани с протичането на електрически ток).

С отчитането на това условие, изразът (5) се представя във вида

$$R^* = e^{\sum_{i_T=1}^{N_T} \frac{(X_{i_T}^* - 1)}{\Delta X_{i_T}^*} + \sum_{i_e=1}^{N_e} \frac{(X_{i_e}^* - 1)}{\Delta X_{i_e}^*} + \sum_{i_M=1}^{N_M} \frac{(X_{i_M}^* - 1)}{\Delta X_{i_M}^*} + \sum_{i_X=1}^{N_X} \frac{(X_{i_X}^* - 1)}{\Delta X_{i_X}^*}} \quad (6)$$

където

$i_T = 1, 2, \dots, N_T$ – количество на топлинните фактори;

$i_e = 1, 2, \dots, N_e$ – количество на електрическите фактори;

$i_X = 1, 2, \dots, N_X$ – количество на химическите фактори;

$i_M = 1, 2, \dots, N_M$ – количество на механичните фактори;

$X_{i_T}^*$ – кратност на i_T – я топлинен фактор;

$\Delta X_{i_T}^*$ – относително отклонение на i_T – я топлинен фактор;

$X_{i_e}^*$ – кратност на i_e – я електрически фактор;

$\Delta X_{i_e}^*$ – относително отклонение на i_e – я електрически фактор;

$X_{i_M}^*$ – кратност на i_M – я механичен фактор;

$\Delta X_{i_M}^*$ – относително отклонение на i_M – я механичен фактор;

$X_{i_X}^*$ – кратност на i_X – я химически фактор;

$\Delta X_{i_X}^*$ – относително отклонение на i_X – я химически фактор.

В най-общия случай за фактора X_i е възможно да се приемат величини, изменението на които оказват съществено влияние на фактическия ресурс на ЕО. За различните видове ЕО се приемат различни фактори X_i , които оказват съществено влияние на фактическия му ресурс.

Например:

- за различните видове прекъсвачи като съществен фактор, оказващ влияние на техния ресурс е възможно да се приеме – комутиращия ток;
- за силовите трансформатори – работната температура на изолацията;
- за електродвигатели – пусковия ток и др.

Очевидно е, че тези величини обикновено характеризират всички групи фактори и при такъв подход за определяне на фактическия ресурс на ЕО е възможно да се отчита само тяхното, особено ако е известна силата на тяхното влияние върху стойността на фактическия ресурс. Под сила на влияние на фактора X_i и съответстващите стойности на фактическия ресурс при условието за постоянно въздействие на дадения фактор ($X_i = \text{const}$) за интервала на отработването на ресурс в обем R_0 . Ако степента на корелация по модул е близка до 1, то

даденият фактор се явява определящ при изчисляване на фактическия ресурс на ЕО. Ако степента на корелация приема стойности, близки до 0, то силата на влияние на този фактор е малка.

Създаването на стратегия за обслужване по „фактическо състояние“ на енергообзавеждането изисква решаването на комплекс от задачи, в които влизат:

1. Избиране на необходимото и достатъчно количество параметри, адекватно описващи състоянието на изделието.

2. Определяне областта на допустимите стойности на тези параметри, осигуряващи нормално и безопасно функциониране на изделието.

3. Построяване на аналитичен модел за деградационните изменения на тези параметри при експлоатация на изделието.

4. Разработване на алгоритъм за прогнозиране състоянието на изделието на зададен интервал от време.

5. Разработване на алгоритъм за приемане на решение за продължаване експлоатацията на изделието или спиране на неговата експлоатация за обслужване, ремонт или брак.

6. Избиране на методи и технически средства за измерване на определящите параметри.

7. Оценка на количествени показатели за експлоатационна надеждност при зададена стратегия на обслужването

Изводи:

1. За създаване и внедряване на стратегията за обслужване по „фактическо състояние“ е на енергообзавеждането е необходимо решаването на комплекс от задачи.

2. За регистриране, събиране и обработка на необходимата диагностична информация е необходимо наблюдавания обект да бъде окомплектован с точно определена апаратура за измерване, регистрация и обработка на получената информация. С тази информация в реално време се прогнозира изчислява фактическия ресурс на наблюдавания обект.

Литература

1. Наредба № 3 за устройството на електрическите уредби и електропроводните линии. Обн. В ДВ бр. 90 и 91 от 2004.
2. Наредба № 4/9.06.2004 г. за техническа експлоатация на енергообзавеждането. Обн. В ДВ бр. 99 от 9.11.2004.
3. Александровская Л.Н. и др. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем. М., Логос, 2003.

ЗАКОН ЗА ОПТИМАЛНО ЧЕСТОТНО УПРАВЛЕНИЕ НА СИНХРОННИ ДВИГАТЕЛИ

д-р инж. Николай Минеков
„Асарел – Медет” АД, minekov@asarel.com

РЕЗЮМЕ

Изследвана е възможността за работа на синхронни двигатели при честотно управление, осигуряваща постоянна претоварваща способност, равна на номиналната.

Получен е закона за изменение на напрежението и възбудителния ток на двигателя.

Ключови думи: синхронен двигател, честотно управление, постоянна претоварваща способност.

Известно е, че управлението на синхронни двигатели (СД) по минимална стойност на статорния ток и при зададени стойности на скоростта и момента осигурява режим на работа, близък до оптималния по минимални загуби, а също така се явява и благоприятен от гледна точка на условията за работа на вентилните преобразуватели на честота. Освен това, управлението по минимална стойност на тока се явява необходимо условие за реализацията на бързодействащи системи за управление [1, 2].

Възможността за регулирането и поддържането на постоянен $\cos\varphi$ на синхронните двигатели (СД) с електромагнитно възбуждане при честотно управление, обуславя значителни предимства на този тип двигатели в сравнение с други (асинхронни, синхронни с постоянни магнити и др.) Тъй като при работа на СД с $\cos\varphi = 1$ се осигурява режим на минимална стойност на тока, при зададени стойности на скоростта и съпротивителния момент на двигателя, е целесъобразно да се направи анализ на законите за честотно управление на СД при работа с $\cos\varphi = 1$.

Широкото използване на синхронните двигатели в редица отрасли на промишленото производство определят актуалността на задачата за изследване на различни режими и закони за енергоспестяващо управление на СД [4, 5].

Ето защо ще се направи изследването на закон за икономично честотно управление на СД с електромагнитно възбуждане, работещ с $\cos\varphi = 1$. Известно е, че претоварващата способност на двигателя при зададения закон за управление остава постоянна и равна на номиналната, а загубите са близки до минималните. Отчитането на активното съпротивление на статорната намотка позволява да се анализира работата на СД със средна и малка мощност на ниски честоти [6].

За целите на анализа се приема, че магнитните проводимости по надлъжната и напречната ос на машината са равни ($X_d = X_q$), а насищането на стоманата не се отчита.

Закон за изменение на напрежението и тока на възбуждане на СД при закон за икономично честотно управление [7, 8, 9].

На основата на известния комплексен израз за статорния ток I на СД [1]

$$I = \frac{U \cdot R + E(X \sin\theta - R \cos\theta)}{Z^2} + j \frac{E(X \cos\theta + R \sin\theta) - RX}{Z^2} \quad (1)$$

се определя $\tan\varphi$ по изрази

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\frac{E}{U}(X \cos \theta + R \sin \theta) - X}{\frac{E}{U}(X \sin \theta - R \cos \theta) + R},$$

където U – захранващо напрежение на двигателя;

E – е.д.с., индукирана в статорните намотки от потока на възбуждане;

X – синхронно индуктивно съпротивление;

R – активно съпротивление на фаза от статорната намотка;

θ – ъгъл между векторите на напрежението U и е.д.с. E ;

φ – ъгъл между векторите U и I ;

$$Z^2 = R^2 + X^2$$

При работа на СД с $\cos \varphi = 1$ ($\varphi = 0$) на основата на (1) се получава отношението

$$\frac{E}{U} = \frac{X}{R \sin \theta + X \cos \theta} \quad (2)$$

Отношението $\frac{E}{U}$ определя степента на възбуждане на синхронния двигател.

След заместване на (2) в израза за електромагнитния момент на СД [1], получава се

$$M = \frac{mU^2}{\omega_c Z^2} \frac{E}{U} \left[(X \sin \theta + R \cos \theta) - \frac{E}{U} R \right],$$

определяме

$$M = \frac{mU^2 X}{\omega_c} \frac{\operatorname{tg} \theta}{R^2 \operatorname{tg}^2 \theta + 2RX \operatorname{tg} \theta + X^2},$$

където m – брой на фазите на двигателя;

$\omega_c = 2\pi f$ – синхронна скорост на магнитното поле;

f – честота на напрежението на захранващата мрежа.

За определяне на граничната стойност на ъгъл $\theta = \theta_m$ се определя производната $\frac{dM}{d\theta}$, получения израз се приравнява на нула, в резултат на което се получава израз

$$\operatorname{tg} \theta_m = \frac{X}{R} \quad (4)$$

След заместване на израза за $\operatorname{tg} \theta_m$ в (3) се получава израз за определяне на максималния електромагнитен момент на СД

$$M_{\max} = \frac{mU^2}{4R\omega_c} \quad (5)$$

Полученият израз за определяне на максималния електромагнитен момент на СД, работещ с $\cos \varphi = 1$, съответства на израза за $M_{\max}$, приведен в [2, 3]. Следователно, максималният възможен момент, развиван от СД при $E_{\max}$ е възможно да се получи само при неговата работа с $\cos \varphi = 1$. При това $E_{\max}$ – е.д.с. на възбуждане на СД, осигуряваща максимален момент, се получава чрез заместването на θ_m в (2)

$$E_{\max} = \frac{UX}{R \sin \theta_m + X \cos \theta_m} = \frac{UZ}{2R}. \quad (6)$$

Полученият израз за E_{max} съответства на получения в [2]

Известно е, че при закон за икономично честотно управление претоварващата способност на СД λ трябва да остава постоянна и равна на λ_n .

Като отчетем, че

$M_{n\ max} = \frac{mU_n^2}{4R\omega_{cn}}$ - максимален момент на СД при номинално напрежение U_n , номинална честота f_n , $\theta = \theta_n$ и

$M_n = \frac{mU^2X_n}{\omega_{cn}} \cdot \frac{tg\theta_n}{R^2tg^2\theta_n + 2RX_n tg\theta_n + X_n^2}$ - номинален момент на СД при $\theta = \theta_n$, се определя претоварващата способност

$$\lambda_n = \frac{M_{n\ max}}{M_n} = \frac{R^2tg^2\theta_n + 2RX_n tg\theta_n + X_n^2}{4RX_n tg\theta_n}, \quad (7)$$

където $X_n, \omega_{cn} = 2\pi f_n$ – съответно синхронно индуктивно съпротивление и ъглова скорост на магнитно поле при номинална честота f_n .

При $U \neq U_n$ и $f_n = f_n$ претоварващата способност на СД се определя с изрази

$$\lambda = \frac{R^2tg^2\theta + 2RX_n tg\theta + \alpha^2X_n^2}{4RX_n tg\theta} \quad (8)$$

където $X = \alpha X_n$; $X_n = X f_n$; $\alpha = \frac{f}{f_n}$

След приравняване на (7) и (8) и решаване на получения израз спрямо $tg\theta$ се получава

$$tg\theta = \alpha tg\theta_n \quad (9)$$

От получения резултат следва извода, че осигуряването на постоянна претоварваща способност на СД с $\cos\varphi = 1$ е необходимо да се регулира ъгъл θ в зависимост от честотата.

За определяне на закона за регулиране на напрежението U при честотно управление, осигуряващ постоянна претоварваща способност на СД, работещ с $\cos\varphi = 1$, е необходимо да се вземе отношението на M към M_n с отчитане на условията

$$X = \alpha X_n; tg\theta = \alpha tg\theta_n,$$

при което се получава израз

$$\frac{M}{M_n} = \frac{U^2}{U_n^2} \cdot \frac{\omega_{cn}}{\omega}.$$

Ако се приемат означенията

$$\mu = \frac{M}{M_n}; \varphi = \frac{U}{U_n} \text{ и } \alpha = \frac{f}{f_n}$$

се получава следния израз

$$\varphi = \sqrt{\mu\alpha} \quad (10)$$

където μ, φ, α – относителни стойности на момента, напрежението и честотата.

Изразът (10) определя закона за регулиране напрежението при произволно изменение на съпротивителния момент, който преодолява СД. При режим на постоянна мощност $p = \mu\alpha$ напрежението по целия честотен диапазон остава постоянно.

Законът за изменение на е.д.с. E (или на възбудителния ток I_e) при честотно управление, осигуряващ изпълнението на условията $\lambda = \lambda_n$ и $\cos\varphi = 1$, се получава с използване на изразите (2), (9) и (10) с отчитане на изразите

$$\sin\theta = \frac{tg\theta}{\sqrt{1+tg^2\theta}}; \cos\theta = \frac{1}{\sqrt{1+tg^2\theta}}$$

След приемане на означенията

$$\frac{E}{E_n} = \varphi_e \text{ и } \frac{E_n}{U_n} = e_{U_n}.$$

където e_{U_n} – степен на възбуждане на СД при номинален режим на работа, се получава израза

$$\varphi_e = \frac{\varphi}{e_{U_n}} \frac{X\sqrt{1+\alpha^2tg^2\theta_n}}{(Rtg\theta_n + X_n)}$$

или

$$\varphi_e = F\sqrt{1+\alpha^2tg^2\theta_n}, \quad (11)$$

където

$$F = \frac{X_n}{e_{U_n}(Rtg\theta_n + X_n)}.$$

Тъй като $E = KI_e f$ и $E_n = KI_{en} f_n$, за φ_e се получава

$$\varphi_e = \alpha i_e,$$

където K – константа;

$i_e = \frac{I_e}{I_{en}}$ – относителна стойност на възбудителния ток.

При тези условия за i_e се получава

$$i_e = \frac{\varphi}{\alpha} F \sqrt{1+\alpha^2tg^2\theta_n}, \quad (12)$$

Изразът (12) определя закона за регулиране на възбудителния ток при закон за икономично честотно управление на СД с $\cos\varphi = 1$ при произволен закон за изменение на съпротивителния момент.

От израз (17) следва, че електромагнитния к.п.д. на СД е инвариантен спрямо съпротивителния момент.

За реализирането на закон за икономично управление на СД с $\cos\varphi = 1$ е необходимо за изменението на напрежението и възбудителния ток да се реализира изпълнението на условията

$$\varphi = \sqrt{\mu\alpha};$$

$$i_s = \frac{\varphi}{\alpha} F \sqrt{1 + \alpha^2 t g^2 \theta_n}.$$

Изводи:

1. За реализирането на закон за икономично управление на СД с $\cos\varphi = 1$ е необходимо изменението на напрежението и възбудителния ток да съответства на зависимостите

$$\varphi = \sqrt{\mu\alpha};$$

$$i_s = \frac{\varphi}{\alpha} F \sqrt{1 + \alpha^2 t g^2 \theta_n}.$$

2. Определен е закона за регулиране на напрежението на статора при честотно управление, осигуряващ постоянна претоварваща способност на СД, работещ с $\cos\varphi = 1$.

3. Постоянна претоварваща способност на СД, равна на номиналната е възможно да се осигури, само при изменението на θ в зависимост от честотата.

4. При режим на постоянна мощност и зададен закон за управление, напрежението и статорният ток на СД са постоянни, а възбудителния ток нараства с намаляване на честотата, което на ниските честоти ограничава границата на регулиране поради насищането на машината.

5. Електромагнитният к.п.д. при закон за икономично управление на СД с $\cos\varphi = 1$ е инвариантен спрямо относителния съпротивителен момент.

Литература

1. Минеков Н.С. Повишаване на енергийната ефективност на промишлено предприятие чрез оптимизация управлението на група мощни синхронни двигатели. Дисертация, 2013.
2. Першин. С. И. др. Расчет оптимального режима работы синхронного двигателя . Электричество, 1981, №9, с. 30-33.
3. Петелин Д.М. Динамика синхронного привода поршневых компрессорных установок. М., Машиностроение, 1976, с.39-40.



ACT Advanced Process Control

Advanced control applications bring stability to the process, as well as consistency to your plant's operation.

Less disturbance means less variance in process performance.

Higher availability leads to more efficient utilization of capital as equipment is used at full capacity all the time — while a good human operator can reach production levels close to optimal, a good system will keep production at an optimal level.

Discover more by
scanning the
QR code



mogroup.com

Metso:Outotec