



Українське товариство
неруйнівного контролю та технічної діагностики

при сприянні



Міжнародного комітету
з неруйнівного контролю



Міжнародного товариства
з моніторингу стану



Європейської федерації
з неруйнівного контролю

8-а Національна науково-технічна
конференція і виставка

**Неруйнівний контроль
та технічна діагностика**

Україна, Київ, 22-24 листопада 2016

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

Організатори



Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона
Національної академії наук України



Українське товариство неруйнівного
контролю та технічної діагностики



Міжнародний виставковий центр

Генеральний спонсор

**Діагностичні
Прилади**
НАУКОВО-ВИРОБНИЧА ФІРМА

Спонори



НВФ "ПРОМСЕРВІСДІАГНОСТИКА"

АЦНК ПРИ ІЕЗ ІМ. Є. О. ПАТОНА НАН УКРАЇНИ

Інформаційна підтримка



ТЕХНІЧЕСЬКА ДІАГНОСТИКА
І НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ



МЕТОДИ ТА ПРИЛАДИ
КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ

www.usndt.com.ua

УДК 620.179.1

Збірник доповідей 8-ї Національної науково-технічної конференції «Неруйнівний контроль та технічна діагностика – UkrNDT-2016» / Київ: УТ НКТД, 2016 – 380 с.

Оргкомітет конференції:

- **Голова –**
Троїцький В.О., професор, зав. відділом Інституту електрозварювання ім.Є.О.Патона НАН України, голова Українського товариства НКТД, член Міжнародної академії НК
- **Співголови –**
Лобанов Л.М., академік НАН України, заст. директора Інституту електрозварювання ім.Є.О.Патона НАН України;
Назарчук З.Т., академік НАН України, директор Фізико-механічного інституту ім. Г.В.Карпенка НАН України;
Карпаш О.М., професор, проректор з наукової роботи Івано-Франківського національного нафти і газу, заст. голови Українського товариства НКТД;
Мозговой О.В., Дніпропетровський національний університет, заст. голови УТ НКТД
- **Почесні члени Оргкомітету –**
Патон Б.Є., академік, президент Національної академії наук України, директор Інституту електрозварювання ім.Є.О.Патона НАН України;
M. Farley, почесний президент Міжнародного комітету з НК (ICNDT);
P. Trampus, президент Європейської федерації з НК (EFNDT);
G. Nardoni, президент Міжнародної академії НК (ANDTI);
L. Gelman, голова Міжнародного товариства з моніторингу стану (ISCM)
- **Наукова рада –**
Бабак В.П., член-кор. НАН України, заст. директора Ін-ту технічної теплофізики НАН України;
Білокур І.П., проф., Національний авіаційний університет;
Бондаренко Ю.К., к.т.н., зав. відділом ІЕЗ ім. Є.О.Патона НАН України;
Казакевич М.Л., к.т.н., заст. голови УТ НКТД, член ANDTI;
Карпаш М.О., проф., директор НДІ нафтогазової енергетики і екології;
Куц Ю.В., проф., НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»;
Луценко Г.Г., к.т.н., директор ЗАТ «УкрНДІНК»;
Малайчук А.П., проф., зав. кафедрою Дніпропетровського національного університету;
Мямлін С.В., проф., проректор з наукової роботи Дніпропетровського НУЗТ;
Недосека А.Я., проф., зав. відділом ІЕЗ ім. Є.О.Патона НАН України;
Павлій О.В., директор НВФ «Діагностичні прилади»;
Півторак В.А., к.т.н., с.н.с. ІЕЗ ім. Є.О.Патона НАН України;
Протасов А.Г., д.п.н., проф., зав. кафедрою НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»;
Середюк О.Е., проф., зав. кафедрою Івано-Франківського НТУ нафти і газу;
Сучков Г.М., проф., зав. кафедрою НТУ «Харківський політехнічний інститут»;
Учанін В.Н., к.т.н., зав. відділом ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАН України;
Шаповалов Є.В., к.т.н., зав. відділом ІЕЗ ім. Є.О.Патона НАН України

Редакційна колегія:

Троїцький В.О. (гол. редактор), Шекеро А.Л. (координатор), Мозговой О.В., Посипайко Ю.М., Ципріанович І.В., Шевченко І.Я., Щупак С.О.

Виконавча група:

Бондаренко О.Г. (координатор), Барташевич Д.В., Бородай О.С., Головченко А.П., Литвиненко Л.В., Троїцька Н.В.

*При передрукуванні матеріалів посилання на цей збірник обов'язкове
© Українське товариство неруйнівного контролю та технічної діагностики, 2016*

ЗМІСТ

ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ

<u>Б.Е.Патон, В.А.Троицкий. Основные направления работ ИЭС ИМ. Е.О.Патона в совершенствовании неразрушающего контроля сварных соединений</u>	8
<u>В.А.Троицкий. Промышленный радиационный контроль без промежуточных носителей информации</u>	29
<u>В.А.Троицкий. Новая высокоэффективная технология магнитопорошкового контроля на основе подвижных намагничивающих устройств</u>	40
<u>В.П.Бабак. Моніторинг об'єктів теплоенергетики з використанням безпілотних літальних апаратів</u>	48
<u>М.О.Карпаш, О.М.Карпаш. Развитие методов многопараметрового диагностирования металлоконструкций долготривалой эксплуатации</u>	54
<u>В.М.Учанін, О.П.Осташ, Ю.В.Головатюк, О.І.Семенець, Л.Б.Ковальчук, В.Я.Дереча. Моніторинг процесів експлуатаційної деградації алюмінієвих сплавів авіаційних конструкцій засобами вихрострумової структуроскопії</u>	58
<u>В.М.Учанін, С.М.Мінаков. Електромагнітні методи визначення напружено-деформованого стану конструкцій із феромагнітних матеріалів</u>	64
<u>В.Н.Воеводин, Л.С.Ожигов, А.С.Митрофанов, Н.Д.Рыбальченко, С.В.Шрамченко, Е.А.Крайнюк, Р.Л.Василенко. Метод магнитной памяти металла в неразрушающем контроле трубопроводов из низколегированных сталей на энергоблоках АЭС</u>	71
<u>И.П. Белокур, В.Г. Демидко. Диагностика – индикатор безопасности авиационной техники</u>	73
<u>С.М. Маєвський. Аналіз вірогідності контролю</u>	79
<u>В.Р.Харун, П.М.Райтер, І.М.Гладь. Моніторинг технічного стану СШНУ на основі дистанційного контролю зміни кутової швидкості кривошипа</u>	85
<u>Л.Й.Воробйов, Л.В.Декуша, О.О.Назаренко, Р.В.Сергієнко. Контроль палива за теплою згоряння з використанням бомбового квазідиференціального калориметру теплового потоку</u>	89
<u>В.П.Кравець. Аналіз кращої світової практики і положень стандартів провідних міжнародних організацій в галузі неруйнівного контролю для створення на їх основі нового стандарту з атестації і сертифікації персоналу з НК в атомній енергетиці</u>	95
<u>В.О.Троїцький, С.О. Щупак, Ю.М.Посипайко. Система міжнародної та національної стандартизації в сфері неруйнівного контролю</u>	99
<u>Ю.М. Посипайко. Дефектоскопія в антарктиці. Технічне діагностування резервуара РВС-200 на Українській антарктичній станції «Академік Вернадський»</u>	104

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

<u>В.С. Єременко. Застосування нейромережкових технологій в комп'ютеризованих системах діагностики виробів із композитів</u>	110
<u>В.Н.Воеводин, Л.С.Ожигов, А.С.Митрофанов, Р.Л.Василенко, Н.Д.Рыбальченко, С.В.Гоженко, Е.А.Крайнюк. использование методов неразрушающего контроля для продления назначенного срока эксплуатации главного циркуляционного трубопровода энергоблоков ВВЭР-1000</u>	115
<u>Л.С.Ожигов, А.С.Митрофанов, Г.Д.Толстолуцкая, Р.Л.Василенко, В.В.Ружицкий, Н.Д.Рыбальченко, С.В.Шрамченко, А.В.Мозговой Комплексный контроль металла барабанов котлов тепловых электростанций</u>	117
<u>Л.М.Лобанов, В.А.Пивторак, П.Д.Кротенко. Определение геометрических параметров коррозионных дефектов в элементах конструкций методами лазерной интерферометрии</u> ..	119
<u>А.И.Красильников. Перспективные направления шумовой диагностики теплоэнергетического оборудования</u>	125
<u>И.В.Богачев, Л.В.Мелещенко. Улучшение основных параметров магнитострикционных сенсоров</u>	131
<u>З.А.Бурова, О.Л.Декуша. Контроль якості теплоізоляційних матеріалів</u>	137
<u>О.Л.Декуша, Л.Й.Воробйов, Р.В.Сергієнко. Методи і засоби моніторингу огорожувальних конструкцій будівель</u>	141
<u>С.І.Ковтун. Метрологічне забезпечення засобів контролю теплового потоку</u>	147
<u>А.О.Запорожець, А.Д.Свердлова. Розроблення ієрархічної системи діагностування теплоенергетичного обладнання</u>	152
<u>С.О.Іванов, Л.Й.Воробйов, Л.В.Декуша. Прилад для вимірювання теплоти випаровування вологи та теплоємності неоднорідних вологих матеріалів методом синхронного теплового аналізу</u>	158
<u>В.А.Троицкий, С.Р.Михайлов, Р.О.Пастовенский. X-ray mini технология контроля на основе твердотельных плоскочелюстных детекторов</u>	162
<u>В.С.Берегун, О.І.Красильніков, Т.А.Полобюк. Статистичний аналіз акустичних сигналів витоків рідини в трубопроводах</u>	168
<u>Ю.В.Куц, Ю.Ю.Лисенко, О.Л.Дугін. Застосування імпульсної вихрострумової дефектоскопії для моніторингу технічного стану великогабаритних об'єктів</u>	174
<u>Э.С.Крылов, В.А.Кулиш. Неразрушающий контроль объектов технологических комплексов угольных предприятий, отработавших нормативный срок службы</u>	179
<u>А.О.Назаренко. Система моніторингу та контролю теплоспоживання з використанням альтернативних джерел енергії</u>	185

<u>Ю.Й.Стрілецький, О.Є.Середюк. Дослідження температурного імпедансу пластично деформованих ділянок металу при неруйнівному контролі</u>	190
<u>А.М.Карпаш, Н.Л.Тацакович, В.О.Шабалдас. Експериментальні дослідження та практика визначення залишкового ресурсу металоконструкцій довготривалої експлуатації з врахуванням напруженого стану</u>	193
<u>І.В.Рибіцький, А.В.Яворський, П.М.Райтер. Досвід виявлення та оцінки втрат природного газу на автомобільних газонаповнювальних компресорних станціях</u> ...	197
<u>А.В.Яворський, І.І.Височанський, М.О.Карпаш, П.М.Райтер, І.В.Рибіцький. Досвід розробки і впровадження пристрою для експрес-контролю теплоти згоряння природного газу</u>	203
<u>В.С.Цих, А.В.Яворський. Електромагнітний контроль ізоляції підземних трубопроводів з поверхні землі</u>	206
<u>В.С.Цих, І.Р.Вашишак, С.П.Вашишак. Розроблення нормативного документу щодо методики безконтактного контролю ізоляційного покриття підземних трубопроводів</u>	208
<u>В.Д.Миндюк. Досвід неруйнівного контролю структурної деградації металу тривало експлуатованих конструкцій</u>	212
<u>М.М.Чуйко, Л.А.Витвицька. Контроль змочуваності рідинами поверхонь твердих тіл імпедансним методом</u>	216
<u>Р.Т.Боднар, О.Б.Барна, В.Б.Біліщук. Контроль міжфазних властивостей на межі розділу фаз «нафта – розчин поверхнево-активної речовини»</u>	219
<u>С.М.Глабець, А.І.Павлій. Фазовані антенні решітки - потужна технологія в ультразвуковому неруйнівному контролі</u>	222
<u>В.Г.Баженов, А.П.Красковский. Комп'ютеризована система на базі п'єзоелектричних фазованих антенних решіток контролю колісних пар залізничних вагонів в процесі експлуатації</u>	225
<u>A.R.Alexiev, O.P.Masiuchok, S.N.Buharov. Investigation on composite materials used for damaged highway pipelines bandaging by low frequency resonance vibrations method</u>	228
<u>І.Й.Мацько, Р.І.Романишин, О.М.Шебордаєв. Концепції створення інформаційної системи для діагностики та моніторингу стану вузлів авіаційної техніки</u>	232
<u>Р.М.Джала, Б.Я.Вербенєць, М.І.Мельник. Нові методи і засоби контролю ПКЗ підземних трубопроводів за вимірами струмів і потенціалів</u>	236
<u>Р.М.Джала, І.Б.Івасів, Л.Є.Червінка, О.О.Червінка, О.М.Семенюк. Оцінка розмірів корозійних точок на поверхні металу за критерієм гладкості сигналу сенсора дифузного відбивання світла</u>	240
<u>Alin Dinita, Olha Borodai. development of new methods for the materials selection and for the repairing pipelines with composite materials wraps</u>	243

РОЗРОБКА МЕТОДІВ І НОВИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ СТАНУ МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

В.Р.Скальський, Є.П.Почапський, Б.П.Клим, Я.Д.Толопко, О.Г.Сімакович, Н.П.Мельник, М.О.Рудак, І.М.Коблан. Розроблення концепції побудови системи діагностування виробів та елементів конструкцій за параметрами магнетопружної акустичної емісії	249
Л.І.Муравський, Т.І.Вороняк, В.Р.Джала, Я.Л.Іваницький, О.Г.Куць, Г.І.Гаськевич, І.С.Голинський. Переносний апаратно-програмний комплекс для неруйнівного контролю композитних елементів конструкцій авіакосмічної техніки: принципи побудови	255
І.М.Яворський, Р.М.Юзефович, І.Й.Мацько, І.Г.Стецько, О.Ю.Дзерин. Засоби неруйнівного контролю та методи нестационарного аналізу вібраційних сигналів обертових вузлів складних машинних комплексів	260
В.В.Павлищук, И.В.Василенко, М.Л.Казакевич. Разработка магнитной жидкости на основе монодисперсных наночастиц $CoFe_2O_4$ для магнитопорошкового неразрушающего контроля	266
А.Я.Недосека, С.А.Недосека, М.А.Овсиенко, М.А.Яременко. Оценка методики принятия решения о состоянии материала конструкций на основе акустической эмиссии	269
В.А.Троицкий, М.Н.Карманов, С.Р.Михайлов, В.А.Шалаев, Р.О.Пастовенский. X-ray mini технология контроля на основе твердотельных детекторов	275
Г.Р.Трохим, І.М.Яворський, Р.М.Юзефович. Об'єкти, підходи та методи для мобільної вібродіагностики	285
В.М.Учанін, Я.П.Кулинич. Моделирование влияния мартенситных перетворень метастабильных аустенитных сталей на сигнал вихрострумового перетворювача	288

ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА МЕТОДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ТА ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ

О.Г.Бондаренко. Вплив факторів контактуючих поверхонь на чутливість системи «перетворювач - виріб» у низькочастотній дефектоскопії	292
О.Г.Бондаренко, М.Є.Стахів. Експериментальні дослідження геометричних характеристик нерівностей поверхні труби	299
А.Я.Тетерко, Г.Г.Луценко, В.І.Гутник, Б.А.Бошонко. Метод вихрострумового контролю товщини стінки та питомої електропровідності матеріалу оболонок із включенням похибки від впливу зазору	302
Г.М.Мартинюк, Л.М.Щербак. Метрологічний контроль генераторів псевдовипадкових чисел для моделювання шумових сигналів	308

<u>Р.М.Галаган, А.С.Момот. Розробка алгоритмів класифікації технічного стану композиційних матеріалів за результатами акустичного контролю</u>	313
<u>О.Д.Близнюк, О.Ю.Гусєв, Н.О.Науменко, Ю.В.Ковбасюк. Методика опрацювання інформаційних сигналів вихрострумів перетворювачів при неруйнівному контролі деталей авіаційної техніки циліндричної форми</u>	317
<u>О.В.Дергунов, О.В.Монченко, Д.О.Трегуб, Д.В.Барташевич. Оцінювання показників точності результатів вимірювань фазових характеристик сигналів при проведенні неруйнівного контролю деталей авіаційної техніки</u>	320
<u>Д.В.Трушаков, А.Л.Шекеро, Ю.Н.Посыпайко. Моделирование физических процессов в вихретоковом преобразователе п-образной формы</u>	325
<u>Є.Ф.Суслов. Статистичний метод оцінки спектрів інформаційних сигналів імпульсних імпедансних дефектоскопів в процесі моніторингу конструкцій з композиційних матеріалів</u>	332
<u>В.Ю.Глуховський. Визначення геометричних параметрів дефектів тепловізійним методом контролю</u>	335
<u>В.Г.Баженов, Д.К.Івіцька. Електростатичний амплітудно-фазовий метод неруйнівного контролю з підвищеною завадостійкістю</u>	340
<u>В.Б.Бондаренко, С.В.Серебренніков, Д.В.Трушаков. Електромагнітний контроль параметрів структурно-анізотропних композитів давачами з орієнтованим полем</u> ...	342
 ПИТАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ І ПІДГОТОВКИ ПЕРСОНАЛУ	
<u>А.Г.Потап'євський, Ю.К.Бондаренко, Ю.В.Логінова, К.О.Артюх. Технологічне управління якістю та експлуатаційними властивостями виробів в зварювальному виробництві</u>	345
<u>Ю.К.Бондаренко, Ю.В.Логінова, К.О.Артюх. Підготовка зварювального виробництва як основа для створення безпечних конкурентоздатних конструкцій машинобудування</u>	350
<u>Ю.К.Бондаренко, О.В.Ковальчук. Оцінка ризику експлуатації зварних конструкцій на підставі моніторингу процесів системи управління якістю і проведення комплексу випробувань</u>	355
<u>Н.Ф.Хорло, Н.А.Сергеева. Применение международного стандарта iso 9712 в промышленности Украины</u>	361
<u>М.Ф.Хорло. Сертифікація фахівців неруйнівного контролю: алгоритми спеціальної підготовки кандидата</u>	368
<u>А.В.Баглай. Практический опыт применения вибродиагностического метода неразрушающего контроля в металлургической отрасли</u>	372
<u>В.О.Троїцький, Ю.М.Посипайко, А.Л.Шекеро. Українському товариству неруйнівного контролю та технічної діагностики – 25 років</u>	378

РОЗРОБЛЕННЯ ІЄРАРХІЧНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

А.О.Запорожець, А.Д.Свердлова

Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ

Забезпечення експлуатаційної надійності, довговічності і безпеки теплоенергетичного обладнання – складне завдання, яка пов'язана з організацією достовірного контролю роботи енергоустановок та із забезпеченням оптимальних умов їх експлуатації. Для вирішення цього завдання необхідна наявність спеціальних систем моніторингу, що дозволяють безперервно контролювати теплотехнічні процеси вироблення, транспортування та споживання теплової енергії; вимірювати основні параметри теплоенергетичних установок, обладнання, машин, механізмів та ін.; діагностувати і прогнозувати технічний стан установок та їх вузлів [1].

До основних параметрів теплоенергетичного обладнання, яке діагностується, відносяться:

- загальні параметри – коефіцієнти економічності, пов'язані з факторами технологічного процесу;
- характеристики властивостей металоконструкцій – твердість, повзучість, тріщиностійкість, наявність раковин, непроварів, освіти окалини поверхонь нагріву;
- геометричні параметри конструкцій – діаметр і товщина труб, відносні зміщення окремих вузлів;
- параметри теплофізичних процесів – температура зон перегрівів поверхонь нагріву і паропроводів;
- параметри хімічних процесів – стан води охолоджуючих середовищ;
- параметри шумових процесів – поява сигналів акустичної емісії, акустичних сигналів витоків, шумів закипаючої рідини, шумів в трубопроводах та ін.;
- параметри вібрації – вібрації котла, трубопроводів, вентиляторів, димососів.

Для вирішення завдань моніторингу і діагностування великих теплоенергетичних систем доцільно використовувати методологію системного підходу. Одним з його основних положень є виділення в теплоенергетичній системі декількох рівнів ієрархії. На рис. 1 приведена ієрархічна структура теплоенергетичної системи великого промислового підприємства. Елементи V рівня самі по собі є складними установками (наприклад, парова турбіна) і можуть піддаватися подальшій деталізації на більш низькі рівні.

До завдань ієрархічних рівнів II-IV відносяться такі, наприклад, як розподіл різних видів палива між окремими споживачами; вибір складу і профілю основного енергетичного обладнання; оптимізація параметрів і виду теплової схеми ТЕС ПП та ін. До завдань рівня V і нижчих ієрархічних рівнів відносяться вибір оптимальних термодинамічних і конструктивних параметрів конкретного теплоенергетичного обладнання з визначеними на рівнях II-IV параметрами [2].

Такий підхід до розгляду теплоенергетичної системи дозволяє використовувати технологію Smart Grid для діагностування окремих рівнів.

Поява і розвиток концепції Smart Grid є природним етапом еволюції теплоенергетичної системи, обумовленим з одного боку очевидними потребами і проблемами поточного теплоенергоринку, а з іншого боку технологічним прогресом, в першу чергу в області комп'ютерних та інформаційних технологій.

Діючу теплову енергетичну систему без Smart Grid можна охарактеризувати як пасивну і централізовану, особливо в частині останнього ланцюга – від розподільних мереж до споживачів. Саме в цій частині ланцюга постачання теплової енергії технологія

Smart Grid найбільш істотно змінює принципи функціонування, пропонуючи нові підходи активної і децентралізованої взаємодії.

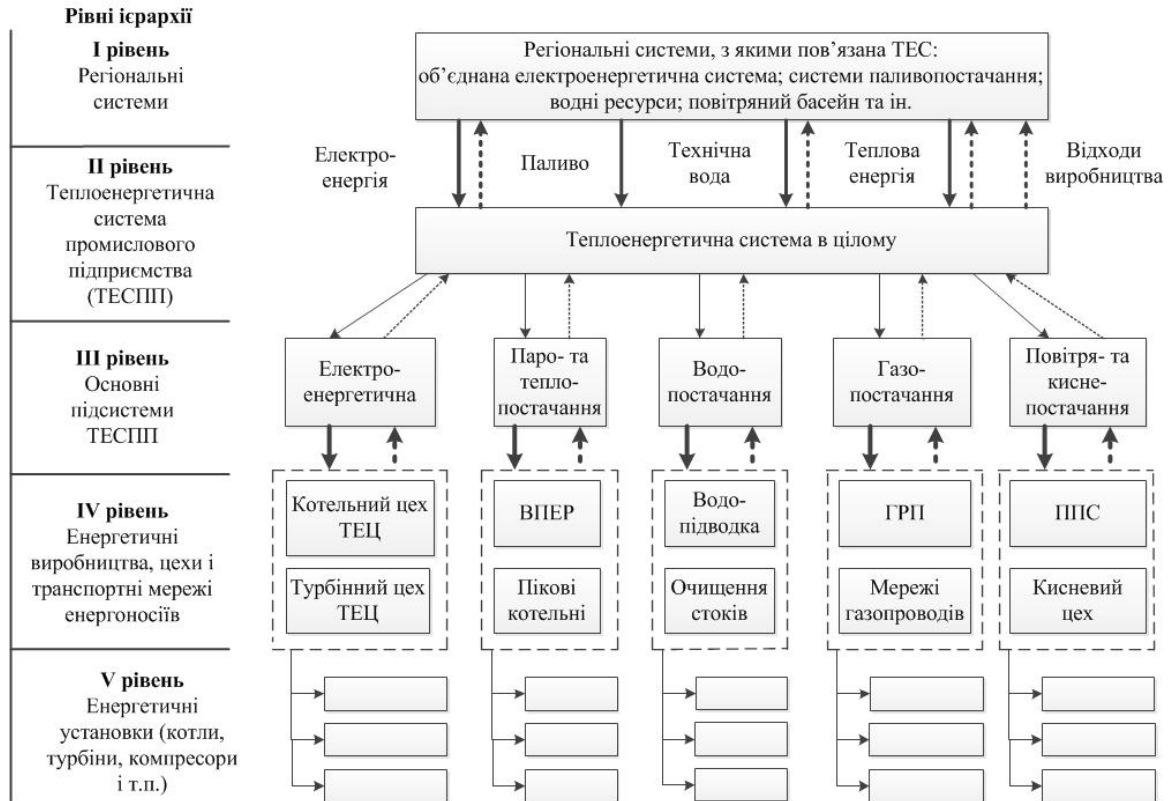


Рис. 1. Ієрархічна структура теплоенергетичної системи великого підприємства

Технологія Smart Grid (рис. 2) характеризується кількома інноваційними властивостями, що відповідають новим потребам ринку, серед яких:

1. Активна двонапрямлена схема взаємодії в реальному масштабі часу та інформаційного обміну між всіма елементами (учасниками мережі) – від виробників теплової енергії до кінцевих споживачів.

2. Охоплення всього технологічного ланцюга теплоенергетичної системи: виробників теплової енергії, розподільчих мереж і кінцевих споживачів.

3. Для забезпечення інформаційного обміну даними в Smart Grid передбачено використання цифрових комунікаційних мереж та інтерфейсів обміну даними. Однією з найважливіших цілей Smart Grid є забезпечення практично безперервного керованого балансу між попитом і пропозицією теплової енергії. Для цього елементи мережі повинні постійно обмінюватися між собою інформацією про параметри теплової енергії, режими споживання і генерації, кількість спожитої енергії і планове споживання, комерційною інформацією.

4. Smart Grid вміє ефективно захищатися і самовідновлюватися від великих збоїв, природних катаклізмів, зовнішніх загроз.

5. Smart Grid сприяє оптимальній експлуатації інфраструктури теплоенергетичної системи.

6. З точки зору загальної економіки Smart Grid сприяє появі нових ринків, гравців і послуг.

Технологія Smart Grid працює через систему спеціальних «розумних» лічильників, встановлених на підприємствах і в житлових приміщеннях. Вони інформують про рівень споживання теплової енергії, що дозволяє коригувати використання теплотехнічне обладнання в часі і розподіляти теплову енергію в залежності від потреб.

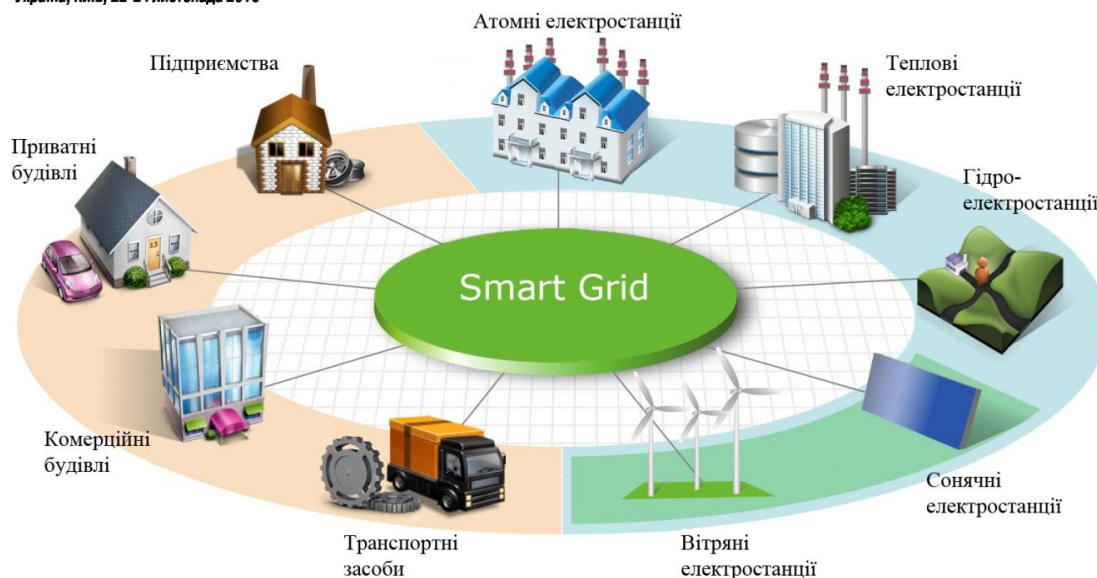


Рис. 2. Показова схема напрямів застосування технології Smart Grid

Новітні інформаційні системи в енергетиці охоплюють великі масиви даних, Інтернет, безпроводні мережі передачі даних, «хмарні» комп'ютерні технології тощо. Зокрема, в останні роки суттєво збільшилось використання безпроводних сенсорів та іншого апаратного обладнання теплоелектричних станцій. Вони вимірюють та передають на диспетчерський пульт велику кількість інформації: дані про температуру, тиск в трубопроводній системі, вібраційні характеристики та інші. Маючи таку інформацію від безпроводних сенсорів, яку в багатьох випадках не можна отримати іншим способом, системи моніторингу, контролю та діагностики на протязі певного періоду можуть більш ефективно оцінити необхідність профілактичних робіт на теплоенергетичному устаткуванні [3].

Виходячи з вищесказаного, концепція Smart Grid суттєво змінює вимоги до надійності обладнання теплоенергетичних мереж, а відповідно і вимоги до засобів її забезпечення (табл. 1).

Зокрема, в рамках традиційного підходу обслуговування обладнання здійснювалося, в основному, на основі планово-попереджувальних ремонтів, а засоби технічного діагностування використовувалися для пошуку дефектів уже після виведення об'єкта з роботи. Особливо відповідальне обладнання оснащене власними системами контролю та моніторингу, які забезпечують аварійну сигналізацію при виникненні нештатних ситуацій, але мають недостатньо засобів для виявлення, класифікації та локалізації дефектів.

В рамках концепції Smart Grid передбачається, що обслуговування та ремонт будуть здійснюватися за фактичним станом. Для цього значно більша частина обладнання буде охоплена системами забезпечення надійності, які будуть здійснювати постійний чи періодичний контроль його фактичного технічного стану. Крім того, самі ці системи будуть мати більше можливостей: двосторонній обмін інформацією на всіх рівнях, віддалений моніторинг стану, прогнозування відмов, планування необхідності у запасних частинах, оцінка залишкового ресурсу, забезпечення можливості самовідновлення обладнання (при умові відповідного резервування) [4].

В зарубіжній англійській літературі перелічені вище задачі об'єднують під загальною назвою "Asset Management". Зараз активно ведуться як інженерні, так і наукові роботи в даному напрямку, причому їх автори пов'язують свої результати саме з реалізацією ключових моментів концепції Smart Grid. Провідні виробники теплоенергетичного обладнання вже зараз пропонують ряд програмних продуктів, призначених для збору та узагальнення статистичної інформації про умови експлуатації та фактичний стан різноманітного обладнання теплоенергетичних мереж.

Таблиця 1. Порівняння традиційного і нового підходів до обслуговування теплоенергетичного обладнання і забезпечення його надійності

В рамках традиційного підходу	В рамках концепції Smart Grid
<ul style="list-style-type: none"> • функціональне діагностування (постійно або періодично) лише для особливо відповідальних об'єктів • система планово-попереджувальних ремонтів • тестове діагностування (під час планових зупинок) • локальні системи діагностування, захисту та автоматики для особливо відповідальних об'єктів 	<ul style="list-style-type: none"> ○ діагностування та віддалений моніторинг стану для широкого класу обладнання ○ обслуговування та ремонт за фактичним станом ○ адаптивні розподілені системи забезпечення надійності (діагностування, моніторинг стану, самовідновлення де це можливо)

Потреба в оснащенні широкого класу різноманітного теплоенергетичного обладнання системами діагностування, моніторингу та контролю стану зумовлює те, що ці системи повинні бути адаптивними, більш інтелектуальними, ніж існуючі. Важливу роль у забезпеченні широких можливостей систем нового покоління буде відігравати розподіл обчислювальних ресурсів між різними системами діагностування, моніторингу та контролю, що працюють на різних рівнях ієрархії теплоенергетичної системи.

Суть розроблюваної системи діагностування теплоенергетичного обладнання полягає в моніторингу і прийнятті діагностичних рішень на кожному з окремих ієрархічних рівнів, що дозволяє виявити, локалізувати та усунути дефекти до того, як об'єкти діагностування стануть несправними.

Виходячи з ієрархії обладнання ТЕС, система вимірює діагностичні сигнали, які несуть інформацію про фактичний стан вузлів устаткування, яке діагностується. Таким чином, до складу системи можуть бути включені сенсори тих фізичних величин, які використовуються для діагностування конкретно заданої системи. Залежно від об'єкта діагностування до складу системи можуть входити [5]:

- термопари або терморезистори – для вимірювання температури;
- акселерометри – для вимірювання параметрів вібрацій;
- вимірювальні мікрофони – для визначення рівня акустичних шумів;
- сенсори електричних величин – для вимірювання параметрів функціонування трансформаторів;
- сенсори тиску – для контролю за розрідженням в топці;
- сенсори газів – для визначення концентрації шкідливих речовин в димовому тракті;
- лічильники теплової енергії – для визначення поточного режиму роботи теплотехнічного обладнання та ін.

Сучасні системи діагностування практично завжди будуються на основі деякого цифрового засобу обчислення (мікроконтролера, персонального комп'ютера, промислової робочої станції і т.д.). Для системи діагностування, яка відповідає основним принципам концепції Smart Grid, ця вимога є обов'язковою, оскільки в рамках «розумних мереж» обмін інформацією здійснюється в цифровій формі. Таким чином, виміряні сигнали повинні перетворюватися в цифрову форму з метою подальшої обробки в обчислювальному ядрі системи. Кінцевий етап обробки інформації в рамках системи діагностування – це відображення результатів користувачам. Для цього в структуру системи включаються відповідні засоби, які, зокрема повинні забезпечувати авторизацію користувачів системи, розподіл прав доступу, захист інформації.

Слід зазначити, що в системах діагностування складних об'єктів може вимірюватися

значна кількість діагностичних сигналів, що призводить до величезного обміну інформацією між компонентами системи. Для зменшення навантаження на канали зв'язку застосовується принцип децентралізації обчислювальних ресурсів, які є одним з основних принципів концепції Smart Grid.

Таким чином, структуру системи діагностування, яка розробляється, можна умовно розділити на ієрархічні рівні, аналогічно тому, як це було зроблено вище щодо тепло-технічного обладнання теплоенергетичної системи (рис. 3).

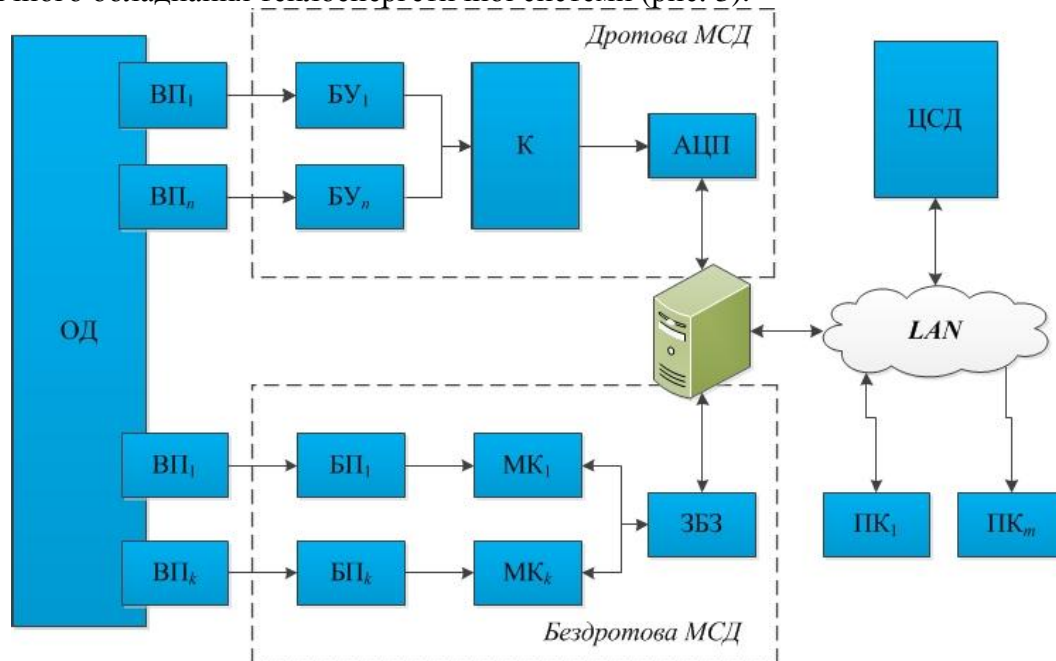


Рис. 3. Структура багаторівневої системи діагностування теплотехнічного обладнання

Розподіл функцій між ієрархічними рівнями розроблюваної системи доцільно організувати таким чином:

- рівень I (вимірювальні перетворювачі (ВП)) – первинний відбір діагностичної інформації (вимірювання діагностичних сигналів, підсилення, аналогова фільтрація, перетворення в цифрову форму);
- рівень II (дротова та бездротова місцева система діагностування (МСД)) – накопичення, повноцінна обробка і глибокий аналіз даних, швидке реагування на аварійні сигнали з нижчого рівня, прийняття діагностичних рішень по об'єкту діагностики в цілому, архівація статистичних даних, прогнозування надійності та оцінка залишкового ресурсу обладнання, планування ремонтних робіт;
- рівень III (центральна система діагностування (ЦСД)) – представлення даних різним користувачам (у тому числі територіально віддаленим, наприклад через Web технології) з обмеженням прав доступу в залежності від службових обов'язків.

Для відображення інформації локальним користувачам (наприклад, обслуговуючому персоналу), а також для обміну інформацією з центральною системою діагностування ТЕЦ всі МСД включаються в локальну мережу, що працює на основі Ethernet.

Для надання можливості обміну інформацією із зовнішніми користувачами (це можуть бути як люди, так і пристрої, що працюють за межами даної ТЕЦ, але об'єднані в «розумну мережу») ЦСД має зв'язок з глобальною мережею (Internet). У зв'язку з цим виникає ряд серйозних проблем забезпечення захисту інформації та уникнення можливих терористичних атак. Для розв'язання цих проблем використовуються спеціальні апаратні засоби захисту мережі.

Система діагностування теплотехнічного обладнання може функціонувати як із дротовою, так і з бездротовою МСД. Дротова МСД складається з блоку узгодження (БУ), комутатору (К), аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) та електронно-обчислювальної машини (ЕОМ). Бездротова МСД складається з блоку перетворення (БП), мікроконтролера (МК), засобів бездротового зв'язку (ЗБЗ) та ЕОМ. Використання як дротових, так і бездротових МСД дозволяє значно розширити класи теплоенергетичного обладнання, що діагностується.

Врахування ступеня критичності дефектів на етапі розробки системи дає можливість спростити її структуру; зменшити обсяги інформації, які обробляються в системі і передаються між її ієрархічними рівнями; і в кінцевому підсумку знизити вартість системи при збереженні її функціональності на достатньому рівні.

Головними перевагами запропонованої системи діагностування теплоенергетичного обладнання на базі Smart Grid є:

- надійність (Smart Grid запобігає масовому відключенню теплоенергії);
- безпека (Smart Grid постійно контролює всі елементи мережі з точки зору безпеки їх функціонування.);
- енергоефективність (зниження споживання теплової енергії; оптимальне споживання призводить до зниження потреб в генеруючих потужностях);
- екологічність (досягається на рахунок зниження кількості і потужності генеруючих елементів мережі; призводить до зниження концентрації шкідливих речовин в навколишньому просторі (СО, NO_x, С_xН_y, Н₂, С та ін.);
- фінансова економічність (зниження операційних витрат; споживачі мають точну інформацію про вартість і можуть оптимізувати свої витрати на теплову енергію; бізнес, в свою чергу, може оптимально планувати і формувати витрати на експлуатацію та розвиток генерації та розподільчих мереж).

1. *Бабак В.П. Принципи побудови систем моніторингу в теплоенергетиці / В.П. Бабак, О.І. Красільников // Промышленная теплотехника. – 2015. – Т.37, №6. – С. 82-92.*
2. *Сазанов Б. В. Теплоэнергетические системы промышленных предприятий: Учеб. пособие для вузов / Б. В. Сазанов, В. И. Ситас. – Москва: Энергоатомиздат, 1990. – 304 с.*
3. *Інформаційне забезпечення моніторингу об'єктів теплоенергетики: Монографія / [В. П. Бабак, С. В. Бабак, В. С. Березун та ін.]. – Київ, 2015. – 512 с.*
4. *Виготовлення і перевірка експериментальних зразків модулів інтелектуальної розподіленої багаторівневої системи моніторингу стану та технічної діагностики. – Звіт за 2-м етапом НДР «Створення методів та системи діагностики електроенергетичних об'єктів для забезпечення їх надійного функціонування з урахуванням вимог концепції Smart Grid». – К.: Інститут електродинаміки НАН України, 2014. – 48 с.*
5. *Бабак В.П. Підвищення ефективності спалювання палива в котлах потужністю до 3,5 МВт з використанням α -зонду / В.П. Бабак, А.О. Запорожець, О.О. Назаренко // Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин: Збірник наукових статей. – Київ: Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України. – 2015. – С. 391-407.*