

Енергозберігаюче управління котлоагрегатів

С.М. Кондратюк, С.В. Лозня, П.Й. Павленко, С.О. Пустовий, В.Ю. Стащенко

З переходом на ринкову економіку питання енерго- і ресурсозбереження у всіх сферах промисловості й житлово-комунальному господарстві набули особливого значення. У наш час практично всю механічну енергію для роботи машин і механізмів одержують за рахунок електричної енергії, використовуючи для цього електроприводи. Саме вони, за оцінками фахівців, споживають близько 65% всієї вироблюваної в країні електроенергії. Зростання тарифів змушує шукати шляхи скорочення витрат на електроенергію. Адже вже зараз вартість електричної енергії, споживаної щороку одним середнім електродвигуном у промисловості, майже в 5 разів перевищує його власну вартість. Питання усунення нерациональної витрати ресурсів все частіше вирішується сьогодні за допомогою високих технологій. Одним із головних напрямків є впровадження в різні галузі промисловості й житлово-комунальне господарство регульованих електроприводів на основі перетворювачів частоти (ПЧ).

Частотно-регульований електропривід трифазного асинхронного електродвигуна змінного струму на базі ПЧ забезпечує плавний пуск електродвигуна, його зупинку, зміну швидкості й напрямку обертання. Можливість подібного регулювання покращує динаміку роботи електродвигуна й тим самим підвищує надійність та довговічність роботи технологічного устаткування. Більше того, ПЧ дає змогу впровадити автоматизацію практично будь-якого технологічного процесу. При цьому створюється система зі зворотним зв'язком, де ПЧ автоматично змінює швидкість обертання електродвигуна таким чином, щоб підтримувати на заданому рівні технологічні параметри системи, наприклад, тиск, витрату, температуру, рівень тощо. За рахунок оптимального керування електродвигуном залежно від навантаження споживання електроенергії в насосних,

вентиляторних, компресорних й інших агрегатах знижується до 70%, а пускові струми, що становлять 600-700% номінального струму та є вкрай небезпечними для пускорегулюючої апаратури, зникають взагалі. Таким чином, застосування регульованих електроприводів на основі перетворювачів частоти дає змогу створити нову технологію енергозбереження, в якій не лише заощаджується електрична енергія, але й збільшується термін служби електродвигунів і технологічного устаткування в цілому.

З іншого боку, чимало українських підприємств відчують гостру потребу у модернізації систем контролю та управління основним технологічним устаткуванням. Це зумовлено як моральною деградацією, так і вичерпанням фізичного ресурсу засобів КІПІА, відсутністю запасних частин.

Найкращим способом розв'язання цієї проблеми є розробка та впровадження автоматизованих систем управління технологічним процесом (АСУ ТП) на базі сучасних мікропроцесорних засобів із застосуванням частотного регулювання замість застарілих систем, що дає змогу максимально використати можливості наявного технологічного обладнання, домогтися якісно нового рівня технології за рахунок впровадження енерго- та ресурсозбереження. За порівняльними оцінками, такий підхід економічно виправданий як за обсягом витрат на впровадження, так і за показниками ефективності (економія енергоресурсів, зниження аварійності, більш ефективне використання устаткування). Крім того, з'являються можливості реалізації безлюдних технологій, задоволення екологічних вимог, підвищення загальної культури виробництва.

З урахуванням наведених аргументів завдання автоматизації котлового господарства підприємств та впровадження технологій енергозбереження є актуаль-

ним. В умовах постійного зростання цін та дефіциту енергоносіїв впровадження систем автоматизації та оптимізації роботи котлоагрегатів з використанням технології частотного управління тягодутьових машин (ТДМ) котла дає змогу істотно підвищити енергоефективність, скоротити річні витрати підприємства. Особливо важливо враховувати те, що старіюча котлова автоматика не завжди може захистити котел та обслуговуючий його персонал від аварійних ситуацій. Крім того, вимоги наглядових органів до обладнання та експлуатації котлів постійно посилюються, вводяться нові санкції до підприємств, що не забезпечують припустимі рівні шкідливих викидів у навколишнє середовище, не впроваджують енергозберігаючі технології тощо. З іншого боку, впровадження новітніх енергозберігаючих технологій на сьогодні є жорсткою вимогою нашої держави [1,2].

Основними вимогами до АСУ ТП, що реалізує технологію частотного регулювання асинхронних приводів ТДМ котлоагрегату, є: висока точність підтримки ефективного згоряння палива й теплообміну, надійність, живучість, мінімальна вартість. Проблемою в реалізації такої АСУ ТДМ є складність одночасного виконання настільки суперечливих вимог, особливо в умовах реконструкції котельні без зупинки виробництва.

Найбільша складність - у створенні контурів регулювання АСУ ТДМ котлоагрегату. Завдання полягає у виборі оптимальної структури системи автоматичного регулювання (САР) ТДМ та її правильного налаштування. Завдання регуляторів ТДМ полягає в автоматичній підтримці заданих тиску повітря за дутьовим вентилятором і розрідження в топці перед димососом на всіх режимах роботи котла. Основними вимогами при виборі структури САР ТДМ є: забезпечення стійкості та швидкодії, що відповідають можливостям застосованих ПЧ, можливість

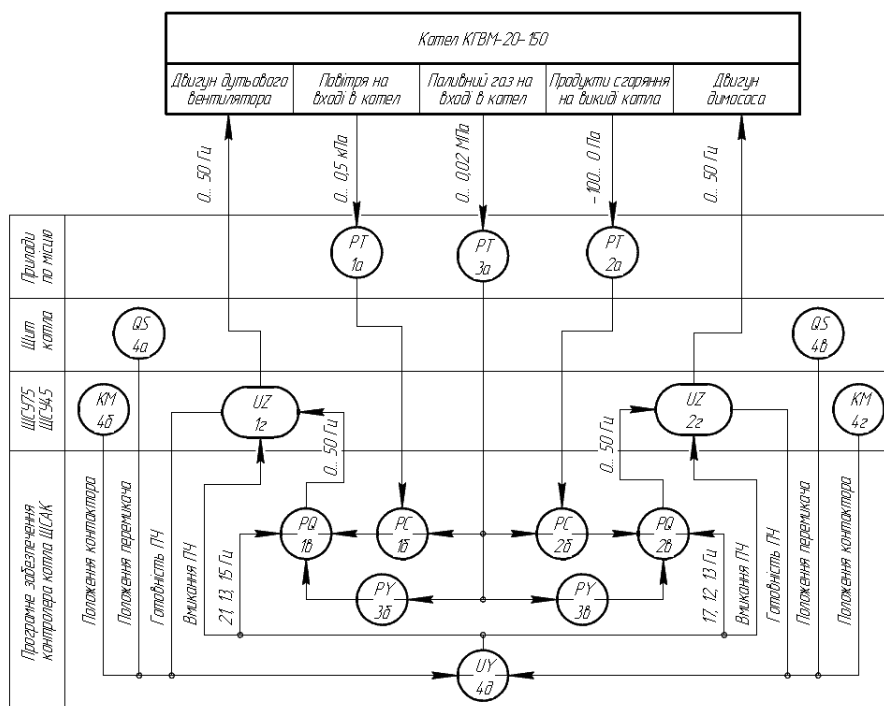
адаптації параметрів настроювання контурів управління в процесі експлуатації, можливість забезпечення працездатності системи при відмові деяких датчиків системи. Крім того, до контурів регулювання ТДМ ставляться вимоги якості перехідного процесу. Якість САР тим вище, чим менше динамічне відхилення регульованої величини та час перехідного процесу, що виникає в системі регулювання під дією різних збурень. При цьому на якість регулювання впливає як структура САР, так і параметри її налаштування. Як відомо, для правильного настроювання САР потрібно знати не лише її властивості, а й, головним чином, динамічні властивості регульованого об'єкта.

Оскільки аналітичний розрахунок динамічних властивостей котлоагрегату зараз не може бути виконаний досить точно, використовуються експериментальні інженерні методи розрахунку. Найбільш широке застосування отримав метод визначення динамічних параметрів регульованого об'єкта за нормальною характеристикою розгону (кривою розгону), під якою розуміється залежність зміни регульованої величини у часі в результаті однократного збурення при відключеному регуляторі.

На жаль, відомі на сьогодні інженерні методи настроювання регуляторів теплоенергетичних об'єктів мають ряд недоліків: застосовуються лише під час пусконаладжувальних випробувань, вимагають зняття кривих розгону, є наближеними.

Введення в експлуатацію САР теплоенергетичних об'єктів вимагає відносно багато часу й високої кваліфікації персоналу. І, незважаючи на це, у багатьох випадках прийняті в експлуатацію системи регулювання виявляються настроєними далеко не оптимально, що спричиняє відповідні економічні втрати. Автоматизація процесу настроювання дає змогу істотно зменшити ці втрати, а також скоротити терміни введення САР в дію.

Не менш важливу роль відіграє автоматизація процесу настроювання САР під час постійної експлуатації об'єкта, тому що вона дає змогу зберегти оптимальне налаштування системи протягом всієї роботи об'єкта, незважаючи на існуючі в більшості випадків непередбачені зміни властивостей останнього. Важко прогнозована зміна динамічних характеристик теплоенергетичних об'єктів у процесі їх функціонування знижує ефективність використання традиційних методів автома-



Склад контурів регулювання, управління та захисту тяго-дутьових машин котла							
Контур регулювання тиску паливця		Контур регулювання розрядження		Контур регулювання тиску газу		Контур управління розгону та захистом котла	
PI1a	Добав тиску паливця на виході в котел	PT2a	Добав розрядження на виході котла	PT3a	Добав тиску газу на виході в котел	QS4a	Кінцевий вимикач перемикача вентилятора
PC1b	ПІД-регулятор тиску	PC2b	ПІД-регулятор розрядження	PY3b	Формувач заданої частоти вентилятора	KM4b	Кінцевий вимикач контактора вентилятора
PS1b	Суматор сигналів частоти вентилятора	PS2b	Суматор сигналів частоти димососа	PY3b	Формувач заданої частоти димососа	QS4b	Кінцевий вимикач перемикача димососа
UZ12	Перетворювач частоти вентилятора	UZ22	Перетворювач частоти димососа			KM42	Кінцевий вимикач контактора димососа
						UY4b	Автомат пуску та захисту

Рисунок 1. Схема автоматизації котла типу КВГМ-20-150

тичного регулювання й робить спочатку настроєний автоматичний регулятор у найкращому разі неоптимальним, а в найгіршому - непрацездатним. Налаштування стають або ослабленими, що спричиняє втрату якості регулювання, або надто гострими, наслідком чого може стати втрата стійкості. Як свідчить практика, заміна фізичних регуляторів на такі, що програмно реалізуються в мікропроцесорних контролерах, без зміни принципів й алгоритмів регулювання виявляється малоефективною [3].

У зв'язку з цим для керування складними технологічними процесами все частіше використовуються адаптивні (самоналаштовувальні) системи, тобто системи, що мають здатність самостійно уточнювати параметри настроювання регулятора при спочатку невідомих, а також непередбач-

ливо мінливих у часі властивостях об'єкта керування. Незважаючи на велику кількість досліджень і розробок у галузі методів й алгоритмів адаптивного керування, у тому числі і в галузі самонастроювальних САР, дотепер відсутні переконливі приклади впровадження, які вижили б у конкуренції з традиційними схемами регулювання.

Більшість існуючих способів адаптивного керування потребує наявності адекватного математичного опису об'єкта регулювання й побудованої на його основі імітаційної моделі системи. Слід відзначити труднощі, які обмежують застосування подібного підходу. По-перше, одержання достовірної адекватної моделі виявляється можливим лише для порівняно простих, як правило, одноконтурних САР, для яких ефективними є звичайні ПІ і ПІД (пропорційно інтегральні і пропорційно

інтегрально-диференційні) регулятори. У свою чергу, якщо вдається створити адекватну модель, вона виявляється жорстко прив'язаною до безлічі характеристик технологічного процесу, що створює проблеми її адаптації в змінюваних умовах виробництва. По-друге, складні математичні моделі в сукупності із сучасними алгоритмами оптимізації вимагають значних обчислювальних ресурсів.

Таким чином, існуючі методи автонастроювання результативно переважно на об'єктах керування з порівняно простою динамікою. Такі об'єкти становлять меншу частину всіх ПІД керованих об'єктів [4]. На переважній іншій частині підібраних автонастроювання параметри регуляторів виявляються не кращими. Оптимізуючи їх ручним способом, можна помітно підвищити якість роботи системи керування. Крім того, існують складні для ПІД керування об'єкти, до яких належать і контури керування ТДМ котла, на яких традиційне автонастроювання взагалі не здатне виконати свою функцію.

Крім того, потрібно врахувати, що в процесі автонастроювання регулятор самостійно подає на об'єкт керування тестові впливи, які можуть виявитися аварійно небезпечними. У зв'язку із цим постає необхідність істотного зниження ризику виникнення аварійних ситуацій при автоматичному настроюванні регуляторів.

Як свідчить практика, котлоагрегат є об'єктом керування з великим інерційно-транспортним запізнюванням. Тому при застосуванні звичайного ПІД регулятора ТДМ котла отримуємо стійкий, але сильно затягнутий у часі перехідний процес, зумовлений динамічними властивостями об'єкта керування. Спроби форсувати цей процес шляхом цілеспрямованої зміни коефіцієнтів настроювання ПІД регулятора призводять до посилення коливальної складової перехідного процесу. Частота коливань у цьому разі може бути дуже низькою, тому процес регулювання буде сприйматися як такий, що має низьку точність у сталому режимі.

У зв'язку з цим підвищити швидкодію регуляторів ТДМ і забезпечити при цьому необхідний запас стійкості, що не допускає посилення коливальності, пропонується шляхом застосування комбінованої схеми регулювання, що діє одночасно по замкнутому й розімкнутому контурах.

Регулятор розімкнутого контуру в такій комбінованій схемі повинен бути побудо-

ваний на основі зворотної математичної моделі котла - залежності частот обертання ТДМ від режиму роботи котла (наприклад, витрати паливного газу). Точність регулювання за допомогою програмного регулятора розімкнутого контуру залежить від точності експериментального визначення характеристики котла. При цьому в розімкнутому контурі регулювання можливо реалізувати відносно невисоку точність. З його допомогою вирішується інше завдання - підвищення швидкодії й стійкості процесу регулювання. Для вирішення цього завдання шляхом застосування регулятора розімкнутого контуру потрібно, щоб частотний привід був швидкісним, незважаючи на значне запізнювання сигналу в об'єкті регулювання.

У цьому разі більш повільний регулятор замкнутого контуру має можливість працювати в межах відносно малого відхилення регульованої величини від заданої, яке зумовлюється точністю регулятора розімкнутого контуру. Тому навіть при низькій швидкості роботи регулятора замкнутого контуру, яка обирається для забезпечення стійкості процесу регулювання, можна досягти невеликого значення часу встановлення заданого значення регульованої величини.

Спільні сигнали керування ТДМ, що обчислюються в алгоритмі регулювання

тиску за вентилятором і розрідження в топці, можуть бути представлені як у вигляді добутку, так і у вигляді суми керуючих функцій регуляторів замкнутого та розімкнутого контурів. На рисунку 1 представлена схема автоматизації котла типу КВГМ-20-150, яка реалізує запропоновану комбіновану схему регулювання ТДМ за рахунок одночасного застосування контурів розімкнутого програмного та замкнутого ПІД управління співвідношенням паливо-повітря та розрідженням у топці котла.

Контури програмного управління ТДМ котла (рисунк 1) настроюються під час пусконаладжувальних робіт шляхом визначення відповідності частот обертання дутьового вентилятора та димососа величин тиску повітря на вході котла та розрідження в топці при повністю відкритих направляючих апаратах вентилятора та шибери димососу. Після налаштування контурів програмного управління похибки підтримки заданого тиску повітря на вході в котел та розрідження в топці становлять до 10%.

Для визначення параметрів ПІД регуляторів замкнутого контуру управління (рисунк 1) при роботі програмних регуляторів було розроблено автоматизовану процедуру налаштування на працюючому котлі з використанням спеціального програмного

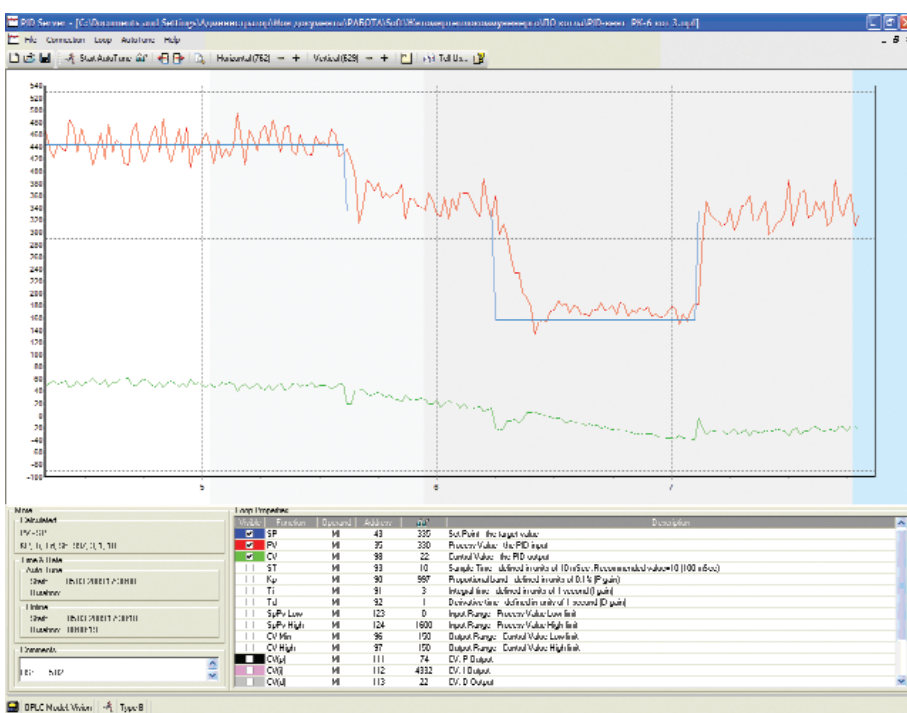


Рисунок.2. Автоматизація налаштування замкнутого контуру управління котлоагрегатом

забезпечення "PID Server" розробки фірми Unitronics. Автоматизація налаштування замкнутого контуру управління співвідношенням паливо-повітря та розрідженням у топці котла дала змогу скоротити час пуско-налагоджувальних робіт та після здійснення невеликої ручної корекції - отримати оптимальні параметри ПІД регуляторів за критеріями мінімального часу регулювання та величини перерегулювання за відсутності коливальності (рисунок 2). При цьому для підвищення надійності управління "дозволений" діапазон зміни вихідних сигналів замкнутого контуру був встановлений на рівні $\pm 4\%$, що виявилось достатнім для компенсації 10% похибки контуру програмного управління. Це забезпечило працездатність розробленої САР навіть при відмовах датчиків тиску повітря за вентилятором та розрідження в топці котла.

Алгоритм процедури настроювання контурів управління ТДМ котла.

1. Настроювання контурів розімкненого програмного управління:

- перехід на ручний режим управління частотними приводами ТДМ, розпалювання котла;

- отримання частотної характеристики дутьового вентилятора - залежності тиску за вентилятором від частоти обертання електроприводу вентилятора;

- отримання частотної характеристики димососу - залежності розрідження в топці від частоти обертання електроприводу димососу;

- розрахунок частотно-режимної карти роботи котла - залежностей частот обертання електроприводів ТДМ від тиску паливного газу;

- введення частотно-режимної карти роботи котла в контролер котла;

- перехід на режим програмного управління частотними приводами ТДМ;

- розпалювання котла та оцінка похибок програмного управління.

2. Настроювання контурів замкнутого управління:

- перехід на ручний режим задавання тиску паливного газу при ввімкнених контурах розімкненого програмного управління частотними приводами ТДМ;

- налаштування параметрів ПІД регулятора тиску повітря за вентилятором за допомогою "PID Server" при "дозволено-

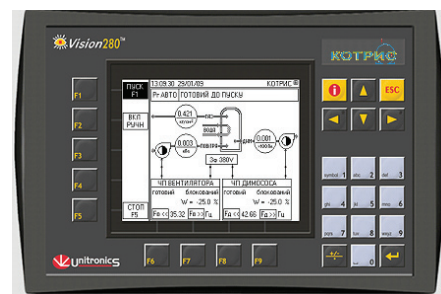


Рисунок 3. Зовнішній вигляд панелі оператора "АСУ ТДМ"

му" діапазоні виходу $\pm 1\%$.

- включення ПІД регулятора тиску повітря за вентилятором, перевірка якості регулювання, ручна корекція параметрів регулятора;

- внесення ручної корекції частоти обертання димососу до виходу на штатний режим розрідження в топці;

- налаштування параметрів ПІД регулятора розрідження в топці за допомогою "PID Server" при "дозволеному" діапазоні виходу 1%;

- включення ПІД регулятора розрідження в топці, перевірка якості регулювання, ручна корекція параметрів регулятора;

Ми знаємо про автоматизацію **ВСЕ!**

КОТРИС

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ
ТЯГОДУТТЬОВИХ МАШИН ТА НАСОСІВ
ВОДОГРІЙНИХ КОТЛІВ**

- підвищення ефективності виробництва теплової енергії;
- підвищення продуктивності устаткування й оперативність керування технологічним процесом;
- зниження аварійності і збільшення терміну служби устаткування;
- зменшення чисельності обслуговуючого персоналу;
- підвищення рівня промислової безпеки;
- підвищення культури праці обслуговуючого персоналу;
- впровадження енерго- та ресурсозберігаючого обладнання та технологій.

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ЦЕХУ
ШВИДКИХ ФІЛЬТРІВ СТАНЦІЙ ВОДОПІДГОТОВКИ**

- підвищення якості води;
- зменшення витрати чистої води на технологічні потреби;
- безперервний екологічний моніторинг якості чистої води;
- підвищення рівня промислової безпеки;
- підвищення культури праці обслуговуючого персоналу;
- впровадження енерго- та ресурсозберігаючого обладнання та технологій.

Економія електроенергії - 70%

Україна, 03057 м. Київ, вул. П. Нестерова, 3, оф.907 тел./факс (044) 456-2142, 456-3859, 456-2275,
e-mail: kotris@kotris.com.ua, www.kotris.kiev.ua

- розпалювання котла та оцінка похибок управління при одночасній роботі контурів розімкненого програмного та замкненого ПІД управління.

Розроблена таким чином автоматизована система управління тягодутьових машин водогрійних котлів "АСУ ТДМ" забезпечила виконання таких режимів котлового обладнання (рисунк 3):

- автоматичний пуск та регулювання ТДМ у процесі розпалювання котла;
- автоматичне регулювання тиску повітря на горіння та розрідження в топці котла, підтримання заданого співвідношення газ/повітря зміною частот обертання дутьового вентилятора та димососа у відповідності з режимною картою котла;
- автоматична зупинка та регулювання ТДМ у процесі зупинки котла;
- ручне управління пуском котла;
- ручне задавання режимів роботи дутьового вентилятора та димососа;
- автоматичне настроювання параметрів ПІД регуляторів ТДМ у процесі експлуатації.

Впровадження системи "АСУ ТДМ" на районних котельних РК-6 та РК-11 Жито-

мирського орендного підприємства теплових мереж "Житомиртеплокомуненерго" дозволило отримати такі показники енергозбереження:

- відносна питома добова економія електроенергії на 1 кВт встановленої електричної потужності ТДМ - 77%;
- добова економія електроенергії на котел з встановленою електричною потужністю ТДМ 112 кВт - 1468,6 кВт/доба;
- добовий економічний ефект від впровадження енергозберігаючої технології на котлі зі встановленою електричною потужністю ТДМ 112 кВт при вартості електроенергії II категорії 60 коп./кВт/год. (довідкове значення) - 881,2 грн./доба;
- сезонний економічний ефект (протягом 182 діб опалювального сезону з 15 жовтня по 15 квітня) від впровадження на технології на двох котельних зі щомісячною роботою 3-х котлів безперервно - 481,1 тис. грн.

Таким чином, впровадження системи "АСУ ТДМ" дає змогу істотно підвищити ефективність виробництва теплової енергії котлоагрегатом за рахунок реалізації оптимальних режимів спалювання палива,

впровадити енерго- та ресурсозберігаюче обладнання та технології, підвищити продуктивність устаткування й оперативність керування технологічним процесом, знизити аварійність і збільшити термін служби устаткування, зменшити чисельність обслуговуючого персоналу та вплив людського фактора на виробничий процес, підвищити екологічні характеристики котельні та культуру виробництва.

Література

- Про енергозбереження : Закон України від 01.07.1994 № 74/94-ВР // Відомості Верховної Ради України. - 1994. - № 30. - С. 283.
- Про Загальнодержавну програму реформування і розвитку житлово-комунального господарства України на 2004-2010 роки : Закон України від 24.06.2004 № 1869-IV // Відомості Верховної Ради України. - 2004. - № 46. - С. 512.
- Репин А.И. Идентификация и адаптация САР с использованием эволюционных алгоритмов оптимизации / А. И. Репин, Н. И. Смирнов, В. Р. Сабанин // Промышленные АСУ и контроллеры. - 2008. - №3. - С. 31-35.
- Бажанов В.Л. Функция самонастройки по методу масштабирования для цифровых ПИД регуляторов / В.Л. Бажанов // Промышленные АСУ и контроллеры. - 2007. - №12. - С. 39-42. ❖

Міністерство промислової політики України,
Міністерство економіки України, Міністерство охорони навколишнього середовища України,
Міжгалузева Координаційна рада «Техногенні ресурси», НВП «Біоексор»

01-05 липня 2009 року
науково-технічна конференція

«ПОВОДЖЕННЯ З ПРОМИСЛОВИМИ ТА ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ. ПРОБЛЕМИ І РІШЕННЯ»

Тернопільська обл., Терехівський р-н
с. Конопківка, Санаторій «Медобори»

Оргкомітет:
Тел.: +38 (044) 246-32-41
Тел.: +38 (048) 722-77-48
Факс: +38 (048) 725-05-66
Моб.: +38 (050) 392-35-29
mail@bioexsor.org.ua
www.congress.bioexsor.org.ua

Конференція ставить за мету обмін досвідом у розробці і впровадженні сучасних технологій використання відходів з орієнтацією на вирішення економічних, екологічних та соціальних завдань на регіональному та місцевому рівнях.

Генеральний
інформаційний
партнер

