*Экология предприятия. - 2015. (прийнята редакцією)*

Володимир Порєв,

Завідувач кафедри наукових, аналітичних та екологічних приладів і систем, професор,

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».

**Екологічні наслідки вдосконалення методів і засобів**

**контролю промислових технологій**

*Обгрунтовано зв’язок між рівнем технологій контролю промислового виробництва та ступенем забруднення довкілля, і показано, що достовірний контроль промислових технологій забезпечує належну якість продукції, зменшує енергетичні та матеріальні затрати на одиницю продукції, зменшує екологічний вплив підприємства на довкілля.*

Однією з болючих проблем сучасності, породжених розвитком промисловості, є стрімке зростання викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище, що супроводжується погіршенням екологічного стану довкілля в глобальному вимірі.

Не підлягає також сумніву, що якість виробленої промислової продукції значною мірою залежить від науково-технічного рівня засобів та методів контролю технологічного процесу, які характеризуються широким діапазоном призначень та великим розмаїттям технічних характеристик.

При цьому, незважаючи на очевидний зв’язок між рівнем технологій контролю та ступенем забруднення довкілля, ці питання іноді розглядаються окремо, особливо в тих випадках, коли мова йде про засоби контролю нового покоління і увага концентрується переважно на технічних характеристиках.

Наприклад, особливе місце серед сучасних методів і засобів неруйнівного контролю належить телевізійним інформаційно – вимірювальним системам (ТІВС), які надають унікальні можливості для дослідження повного циклу різноманітних технологічних процесів. За допомогою ТІВС інформація про структуру, стан та властивості об’єктів різної природи, яка міститься в їх випроміненні, перетворюється в зображення та аналізується. Принциповою відмінністю ТІВС від аналогів є великийобсяг вибірки—106…107 елементів, порівняно малий час формування всієї вибірки—0,04…0,4 с та невеликий розмір елемента розкладу зображення —7…10 мкм. Поєднання вказаних характеристик надає унікальну можливість провадити вимірювання геометричних, динамічних та енергетичних (температурних ) параметрів об'єктів в реальному масштабі часу з високим просторовим розрізненням шляхом аналізу як власного випромінення, так і того, що відбилося або пройшло через об’єкт. І закономірно, що на сьогодні у всьому світі зростає попит на засоби вимірювальної техніки з характеристиками, які можуть бути забезпечені тільки телевізійною системотехнікою.

В той же час через певні суб’єктивні причини, перш за все, внаслідок спрощеного підходу до методології використання ТІВС для вимірювання геометричних, а особливо температурних параметрів технологічного процесу, в уявленні частини вітчизняних фахівців може існувати розрив між розумінням потенційних можливостей ТІВС та підходом до їх реалізації у вигляді засобів контролю конкретної технології, що не дозволяє в повній мірі оцінити екологічні наслідки вдосконалення методів і засобів контролю промислових технологій.

Мета даної роботи полягає в тому, щоб привернути увагу екологічних служб промислових підприємств та фахівців-технологів до потенційних переваг принципово нових засобів неруйнівного контролю, впровадження яких дозволить не тільки поліпшити якість продукції, але й зменшити енергетичні та матеріальні затрати на одиницю продукції, тобто зменшити екологічний вплив підприємства на довкілля.

З точки зору наукових та технологічних задач ТІВС викликає особливу цікавість як технічний засіб з потенційно високим просторовим розрізненням. Але при використанні ТІВС для вимірювання геометричних параметрів можливі значні розходження в методиках оцінки роздільної здатності взагалі та в методиках оцінки можливостей ТІВС при вирішенні конкретних задач. В більшості практичних задач для оцінки приймають, що лінійне розрізнення ТІВС обернене розміру елемента розкладу зображення, що визначається типом світлоелектричного перетворювача. Ця обставина разом з малою тривалістю формування сигналу всієї матриці є принциповою особливістю ТІВС, яка вже зараз відкриває перед ними широкі перспективи впровадження в технологічну практику.

В той же час існує клас задач, наприклад, вимірювання розмірів або зміщення об’єкту від заданого положення, коли необхідно визначати координати меж з більшою точністю. Виконані нами дослідження показали, що точність визначення координати межі зображення можна значно збільшити за рахунок спеціальної методики формування вимірювального сигналу. Суть методики полягає в реалізації алгоритма, який базується на визначенні співвідношення між сигналами, сформованими двома масивами елементів в межах лінійного чи прямокутного маркера. Розміри маркера та його положення на зображеннні об’єкта вибираються таким чином, щоб в середині маркера знаходились межа зображення та фрагменти, прилеглі до неї з протилежних сторін. Експериментальні дослідження підтвердили ефективність даної методики. Зокрема, використання методики дозволяє втричі збільшити точність вимірювання геометричних параметрів зони розплаву в технології електронно-променевоїбезтигельної зонної плавки [1]. Зрозуміло, що збільшення точності вимірювання забезпечує своєчасне реагування на відхилення параметрів технологічного процесу від заданих, зменшує ризик браку, а в підсумку зменшує технологічне навантаження на довкілля.

При аналізі зображень об’єктів складної форми, особливо з малими значеннями контрасту, ефективність застосування телевізійних засобів для вимірювання геометричних розмірів підвищується при використанні методу радіальної розгортки, суть якого полягає в скануванні зображення об’єкту в полярній системі координат радіус-вектором, розміщеним центрі зображення. Вперше метод був успішно апробований в задачі вимірювання геометричних параметрів обертової мікрокраплі при визначенні міжфазного натягу на межі нафти і поверхнево-активних речовин, і використаний в нафтовидобувній промисловості для інтенсифікації нафтовилучення з родовищ, традиційна експлуатація яких вважалася економічно нерентабельною. В той же час наявність в родовищі залишків нафти створювала певні екологічні проблеми, а ефективність впровадження інтенсивного нафтовилучення опосередковано залежить від точності визначення міжфазного натягу на межі розділу нафти і поверхнево-активних речовин [2].

Не викликає заперечень теза, що технологічний рівень суспільства в сьогоднішньому світі визначають, головним чином, високі технології, зокрема, матеріалознавство як база для отримання нових матеріалів та виробів—надчистих, композитних та із заданими властивостями. Очевидно, що розроблення принципово нових матеріалів та виробів також вимагає адекватних засобів дослідження та контролю їхнього структурного стану. Вже сьогодні одночасно із традиційними засобами мікроскопії (світлової, електронної) швидко розвиваються телевізійні комп’ютеризовані засоби, які забезпечують формування, обробку і подальший кількісний аналіз широкого спектру характеристик зображень. Комп'ютеризовані телевізійні інформаційно-вимірювальні системи фактично знаменують собою новий рівень вимірювальних технологій і потенційно найбільше відповідають сучасним вимогам щодо вимірювання геометричних та амплітудних параметрів в матеріалознавстві.

При цьому, на думку більшості користувачів, використання універсальних і тому надзвичайно дорогих комп’ютерно-телевізійних мікроскопів не завжди доцільне в тих галузях науки, які динамічно розвиваються, і тому постійно висувають все нові й нові вимоги до засобів вимірювання. А сучасне матеріалознавство якраз і є однією із найбільш динамічних галузей науки. Якщо ж врахувати ще й динаміку розвитку операційних систем та програмних засобів, вартість яких складає основну частку вартості універсального комп’ютерно-телевізійного мікроскопа, то стають очевидними переваги концепції ТІВС, що враховує як потреби сучасного матеріалознавства, так і можливість оперативного реагування на появу нових технологічних вимог та більш досконалих апаратно – програмних засобів інформаційно – вимірювальної техніки.

Актуальними для високотемпературних промислових технологій завжди залишатимуться задачі створення ефективних методів та технічних засобів вимірювання температури. При цьому різноманітність об’єктів та умов контролю, вимог до точності вимірювань та достовірності контролю — практично виключають можливість створення універсальної методології в рамках як традиційної (класичної), так і нетрадиційної термометрії. На сьогодні термометрія як одна із складових теплового контролю сформувалась в самостійну галузь вимірювальної техніки, що забезпечує потреби наукових досліджень та високотемпературних технологій. Найбільш динамічним напрямом сучасної термометрії є пірометрія випромінювання, що визначається як сукупність безконтактних методів вимірювань високих температур, побудованих на залежності температури тіла і енергетичних характеристик його випромінювання.

З розвитком телевізійної системотехніки виникає новий напрям пірометрії —телевізійна пірометрія, яка має загальну з традиційною пірометрією випромінювання теоретичну базу і в той же час завдяки особливостям формування сигналу дозволяє вирішувати сучасні наукові та технологічні задачі на якісно новому рівні. Очевидною перевагою ТІВС є візуалізація високотемпературного поля в широкому діапазоні температур, що має важливе значення при неможливості безпосереднього спостереження за перебігом процесу в динаміці і в деталях.

Взагалі, в пірометрії випромінювання можна забезпечити високе розрізнення (мікропірометрія) та отримати виборку будь-якого формату, але тільки ТІВС може забезпечити вимірювання температури в найбільшій кількості точок з найвищим просторовим розрізненням протягом найменшого часу. При цьому в межах одного і того ж світлоелектричного перетворювача може бути сформовано зображення об’єкту в різних спектральних діапазонах, тобто реалізовано мультиспектральний пірометр на єдиному перетворювачі. Аналогічно може бути сформовано зображення об’єкту і еталонного джерела, що має неабияке значення в метрологічному аспекті. Перераховані вище властивості ТІВС створюють умови для підвищення ефективності контролю температурних полів, отже для підвищення якості продукції в багатьох провідних технологіях, таких як електронно-променева технологія очистки та напилення в вакуумній камері, зварювання, лазерна обробка матеріалів, високотемпературне відпалювання труб складної конфігурації, гаряче штампування, виробництво металів, сплавів, прокату, дроту, порцелянових та скляних ізоляторів, спеціального склопосуду тощо. І завжди в результаті, крім підвищення якості продукції, отримуємо зменшення енергетичних та матеріальних затрат та зниження технологічного навантаження на довкілля.

Вибір технічного засобу для вимірювання температури обумовлюється вимогами щодо контролю даної ланки технологічного циклу. Якщо достатньо вимірювати температуру в одній точці, то задача може бути вирішена за допомогою термопари чи традиційного пірометра, а застосування порівняно складних і дорогих засобів з формуванням та аналізом зображень є недоцільним. Такою задачею в металургії є, наприклад, вимірювання температури струменя рідкого металу в плавильної печі або при розливці у форму чи у накопичувач, який використовується перед розливкою в великі форми. Дещо більшими видаються перспективи застосування ТІВС для контролю процесу розливу заготовок, ефективність та безаварійність якого безпосередньо залежить від вирішення проблеми контролю та регулювання температури. При цьому неперервний розлив заготовок значних розмірів при високих температурах потребує вимірювання в кількох зонах по периметру заготовки з розрізненням біля 20 мм, що може бути реалізоване засобами телевізійної пірометрії.

В прокатному виробництві контроль температури з наступним регулюванням режимів роботи валків забезпечує задану товщину листа прокату. Контроль провадиться, як правило, перед прокаткою і здійснюється за допомогою об’єктивних пірометрів. Така задача може бути покладена на ТІВС і при цьому з’являється можливість більш детально аналізувати розподіл температури на поверхні листа прокату.

При виробництві дроту головною вимогою є дотримання заданого значення діаметру. При цьому контроль провадиться вибірково, що не виключає можливого пропуску некондиційної продукції. Певним чином на якість дроту впливає температурний режим на виході з філь’єр. Приймається, що необхідний режим забезпечується підтриманням температури розплаву, що не виключає можливості його порушення саме на етапі формування дротини. Отже, в цьому випадку телевізійна пірометрія надає значно більші можливості щодо постійного і одночасного контролю обох параметрів — температури дроту на виході з філь’єри та його діаметру.

Лазерна обробка матеріалів охоплює сукупність технологічних процесів термічної обробки поверхні, зварювання, різання, утворення отворів. Термічна обробка застосовується для зміцнення поверхні за рахунок локального швидкого нагріву з наступним охолодженням, що приводить до збільшення твердості поверхневої структури. Шляхом лазерного зміцнення можна в кілька разів підвищити зносостійкість інструментів та термін експлуатації важливих вузлів в хімічному машинобудуванні, нафтовидобувній промисловості, на автомобільному та залізничному транспорті, в літакобудуванні тощо. Характер взаємодії лазерного випромінювання з речовиною визначається співвідношенням між відбитою компонентою та тією, що поглинається, а також концентрацією потужності на одиницю поверхні. Практично до 104 Вт/см2 поглинання супроводжується підвищенням температури, при 105 Вт/см2 досягається температура плавлення більшості речовин. Подальше збільшення концентрації потужності веде до розвитку локальних вибухових процесів. Визначальним фактором перебігу процесів лазерної обробки матеріалів є температурне поле в зоні впливу лазерного випромінювання. Очевидно, що результат застосування будь-якого методу лазерної обробки матеріалів залежить від дотримання заданих параметрів теплового режиму — розподілу та динаміки температурного поля. Ця обставина вимагає не тільки адекватних моделей розрахунку, але і досконалої методології контролю температурного поля в зоні впливу лазерного випромінювання. Отже, в даному випадку повністю адекватними будуть методи та засоби телевізійної пірометрії, які дозволять провадити ефективний контроль технологічних процесів лазерної термічної обробки, визначити необхідні параметри для теоретичного моделювання, а в цілому сприятимуть вдосконаленню методології лазерної обробки матеріалів.

Велика кількість практично важливих застосувань засобів пірометрії випромінювання пов’язана з різними металургійними виробництвами. Власне, і своїй появі пірометрія зобов’язана саме потребам металургії. Температура рідких металів і сплавів — важливий технологічний параметр в металургійному та ливарному виробництвах. Температурний режим плавки визначає фізико-хімічні властивості металу, вміст неметалічних включень, газів, що має особливе значення при виробництві спеціальних сплавів. Відхилення температури плавки від оптимальної на ±20°С, а в деяких випадках і на ±5°С може суттєво вплинути на якість металу. Таким чином, достовірний контроль температурного режиму плавки дозволяє зменшити брак, подовжити термін експлуатації обладнання, зменшити енергетичні та матеріальні затрати на одиницю продукції, зменшити екологічний вплив підприємства на довкілля.

В Україні дослідження з проблем телевізійної пірометрії започатковані і активно ведуться в Національному технічному університеті “Київський політехнічний інститут”. За цей час окреслено коло теоретичних та практичних питань, що становлять базу телевізійної пірометрії, сформована чітка концепція використання телевізійних приладів для аналізу температурних полів, виконано ряд важливих проектів, зокрема, створено апаратно-програмний комплекс для контролю параметрів зони плавки, яка застосовується для отримання надчистих напівпровідникових матеріалів в умовах мікрогравітації [1]. Вирішення цієї проблеми є однією із найбільш яскравих ілюстрацій ефективності телевізійної пірометрії.

**Перелік посилань**

1. Порев В.А. Контроль температурного режиму електронно-променевої безтигельної зонної плавки кремнію // Методи та прилади контролю якості. – 2013. №1. С.108-113.
2. Порєв В.А., Порєв Г.В., Кісіль Р.І. Виділення контурів зображень складної форми методом радіальної розгортки // Методи та прилади контролю якості.—2000.—№6—С.32-36.