

УДК 004.942

УПРАВЛІННЯ ПРОСТОРОВИМИ ДЕВІАЦІЯМИ В ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

Становський О. Л., Торопенко А. В., Торопенко О. В.

Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна

Анотація. Показано, що при вимірюваннях великогабаритних складних об'єктів іноді доводиться розташовувати частину елементів засобів вимірювання всередині об'єкта, а частину – зовні. В цьому випадку, особливо коли зовнішні елементи рухомі, можлива девіація останніх від запланованого розташування у просторі. Запропоновані методи, які здійснюють проектування засобів вимірювання таким чином, щоб вони адаптивно протидіяли таким явищам, що дозволяє знизити похибку вимірювання та підвищити його достовірність.

Ключові слова: елементи метрологічних засобів, просторова девіація, автоматизоване проектування, похибка та достовірність вимірювань.

Автоматизоване проектування засобів вимірювання має певні особливості, які полягають в необхідності створення додаткових сприятливих умов для роботи їхніх чутливих органів. Справа в тому, що точність роботи засобів вимірювання (ЗВ) суттєво залежить від стабільності геометричного розташування їхніх елементів (ЕЗВ). І, хоча в ЕЗВ, як правило, не виникають суттєві механічні напруження, навіть незначні їхні відхилення можуть призвести до значних втрат точності позиціонування, а отже точності та достовірності результатів такого вимірювання.

Під відхиленням ЕЗВ в роботі розуміли статичні деформації або переміщення, а також динамічні коливання або будь-яке їхнє об'єднання, не передбачені паспортною геометричною або кінематичною схемою відповідного засобу.

Для усунення зовнішніх впливів, які можуть призвести до подібних відхилень (девіації) при проектуванні ЗВ застосовують різні конструктивні прийоми: підвищення жорсткості елементів, оптимізацію їхньої конструктивної схеми, сучасні матеріали із покращеними характеристиками опору, тощо. Широко застосовуються також методи активного та пасивного віброзахисту, термостатування, екранізації та багато інших.

Зрозуміло, будь-який захист неспроможний повністю усунути небажані відхилення ЕЗВ. Особливо це відноситься до об'єктів вимірювання, які мають великі габарити (десятки метрів) та вагу, непрозорість, високі температури (сотні градусів), суттєві зовнішні впливи непередбачуваного характеру, тощо. Моделі поведінки таких об'єктів під навантаженням вкрай складні, а методи їхнього аналізу та використання в САПР взагалі відсутні, що призводить до закладання значних майбутніх похибок майбутнього вимірювання вже на етапі проектування.

Тому актуальним є дослідження, направлені на розробку методів та моделей, які на ранніх стадіях створення метрологічних засобів (наприклад, на етапі їхнього автоматизованого проектування) забезпечують необхідну точність майбутнього вимірювання параметрів великогабаритних об'єктів, незалежно від умов їхнього використання на практиці.

Мета роботи – підвищення точності вимірювань технічних параметрів великогабаритних об'єктів відповідального призначення шляхом створення систем автоматичного проектування нових комплексних засобів вимірювань. Такі засоби повинні бути засновані на нових моделях небажаних переміщень окремих елементів останніх та методах їхньої компенсації.

В останні роки автоматизоване проектування спеціального метрологічного забезпечення (МЗ) для дослідження внутрішніх параметрів об'єкта [1–3] набуло великого поширення. Це

пов'язане із тим, що воно дозволяє на ранішньому, проектному етапі життєвого циклу МЗ ефективно обирати метод вимірювання та конструкцію відповідних ЗВ, які мають нормовані метрологічні характеристики. До останніх можна віднести міри фізичних величин, вимірювальні прилади, перетворювачі та устаткування, інформаційно-вимірювальні системи, обчислювальні комплекси та *вимірювальні пристрої*, в яких виконується лише одна із складових частин процедури вимірювання, наприклад: перетворення, масштабування, порівняння, або інші операції із сигналом.

Існуючі САПР МЗ не здатні ефективно функціонувати, оскільки вони не «оснащені» моделями та методами процесів вимірювання відповідальних об'єктів. Прикладами таких об'єктів є великогабаритні будівельні конструкції, дослідження внутрішніх параметрів яких (наприклад, щільності) є вельми проблематичним із-за значної просторової девіації елементів МЗ, які призводять до неприпустимих втрат точності вимірювання.

Серед основних напрямків усунення цих проблем, виявлених в ресурсах світової наукової періодики, можуть бути виділені такі:

- 1) застосування методів та засобів зовнішнього по відношенню до об'єкта неруйнівного контролю [4–8];
- 2) застосування вбудованих в об'єкт засобів неруйнівного контролю [9–12];
- 3) застосування комплексних засобів неруйнівного контролю, які вбудовуються в вимірюваний об'єкт лише частково [13].

На початку створення моделей елементів комплексних засобів вимірювання (ЗВ) виконаємо класифікацію девіації ЗВ за їхнім розташуванням відносно великогабаритного складного об'єкта вимірювання та причинами їхнього виникнення (табл. 1).

Таблиця 1

Класифікація девіації елементів комплексних засобів вимірювання за розташуванням та причинами виникнення

Елементи комплексних ЗВ	Причини виникнення девіації		
	статичні	динамічні	технологічні
Внутрішні (вбудовані в об'єкт)	Зсув, поворот, вигін об'єкта вимірювання разом із внутрішніми ЕЗВ	3-D вібрація об'єкта вимірювання разом із внутрішніми ЕЗВ	Відхилення від креслення та зсув внутрішніх ЕЗВ відносно об'єкта вимірювання
Зовнішні по відношенню до об'єкта	Зсув, поворот, вигін зовнішніх ЕЗВ	3-D вібрація зовнішніх рухомих ЕЗВ від приводу та направляючих	Відхилення від креслення та зсув зовнішніх ЕЗВ відносно об'єкта вимірювання

Статичні девіації є наслідками механічного або термічного навантаження на елементи метрологічних засобів, яке призвело до деформації та переміщення елементів.

Динамічні: девіації є наслідками механічної взаємодії із приводом та направляючими руху зовнішнього елемента метрологічного засобу або об'єкта.

Технологічні: девіації є наслідками порушення технології виготовлення виробів, наприклад, застосування металопрокату, який за розмірами не відповідає проекту виробу, неточності зварювання, металообробки, тощо, неточні встановлення та фіксація металевої арматури в прес-форму і т. п.

Розглянемо плоский конденсатор із паралельними обкладками площиною S на відстані d одна від одної. Ємність такого конденсатора, як відомо, визначається за формулою:

$$C = \varepsilon(\rho) \varepsilon_0 \frac{S}{d}, \quad (1)$$

де C – ємність конденсатора, Ф; $\varepsilon_0 = 8,854187817 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – електрична постійна; ε – середня діелектрична проникність; ρ – середня щільність діелектрика, кг/м³, розташованого між обкладками конденсатора; S – площа обкладки конденсатора, м²; d – відстань між обкладками, м.

Очевидно, що в реальному засобі вимірювання усі перелічені параметри (крім електричної постійної) можуть бути визначені лише приблизно, а отже реальна ємність є девіацією розрахованої за (1). При цьому загальні моделі статичних девіацій складаються з їхніх елементарних переміщень.

Відповідно, математичною формою таких елементарних переміщень є зміна відстані між обкладками Δd при паралельному зсуві. Кут відносного повороту обкладок α , радіуси вигинів обкладок: внутрішньої $r_{\text{вн}}$ та зовнішньої $r_{\text{зовн}}$, відповідно та параметри коливань – частота f та амплітуда A . Моделі динамічних девіацій обумовлюються 3-D вібрацією технологічного обладнання та ЕЗВ при переміщенні останніх вздовж виробу по направляючих.

Реальний комплексний конденсатор в складному виробі, наприклад, конденсатор «арматура виробу – зовнішня пластина» в залізобетонному циліндрі, поруч з яким знаходиться ЗВ, звісно не є плоскопаралельним за кресленням і точним за технологією виготовлення. Уявимо собі ідеальний комплексний конденсатор, внутрішньою обкладинкою якого є сталевая арматура виробу, а зовнішньою – деякий металевий елемент, розташований поруч із виробом на конструктивно визначеній відстані від нього.

Зрозуміло, що навіть маючи точні креслення арматури зовнішнього елемента та їхнього взаємного розташування, з-за складності конфігурації першої значення ємності цього конденсатора теоретично розрахувати вельми складно. З-за тієї ж складності неможливе також точне виготовлення арматури та встановлення її в опалубку перед заливанням. З цього стає очевидним, що й теоретичний розрахунок реальної ємності конденсатора із зазначеною внутрішньою частиною лише за кресленням також неможливий.

Фактично маємо конденсатор із невизначеною та недоступною для безпосереднього моніторингу внутрішньою частиною, що не дозволяє застосовувати при вимірюванні щільності бетону формулу (1). А також її пристосований до вимірювання щільності ρ обернений варіант:

$$\rho(\varepsilon) = C \varepsilon_0 \frac{S}{d}. \quad (2)$$

Для визначення ρ в якості результату вимірювання необхідно не тільки мати функцію $\rho(\varepsilon)$ у явному (наприклад, табличному) вигляді та виміряти значення C та S , але й отримати невимірюване значення d .

Для розв'язання останнього завдання застосовували розпізнавання образу реального конденсатора у вигляді рівного йому за ємністю за допомогою методу віртуального об'єкта.

В рамках цього методу будемо шукати віртуальний конденсатор із умовно плоскою внутрішньою обкладинкою, ємність якого $C_{\text{вирт}}$ дорівнювала б ємності $C_{\text{вим}}$ реального вимірюваного конденсатора із повітряним шаром між обкладками для поточного об'єкта, тобто $C_{\text{вим з повітрям}} = C_{\text{вирт}}$. Таким чином отримуємо віртуальний образ реального конденсатора.

Вимірювання $C_{\text{вим з повітрям}}$ здійснюється на робочому вимірювальному стенді [14] до заповнення опалубки із арматурою бетоном, тобто тоді, коли місце майбутнього бетону заповнене повітрям.

Далі заповнюємо опалубку із встановленою арматурою бетоном, виконуємо друге вимірювання ємності того ж конденсатора, але «з бетоном» і розраховуємо діелектричну проникність останнього за формулою:

$$\varepsilon_{\text{бетон}} = \frac{C_{\text{вим з бетоном}}}{C_{\text{вим з повітрям}}} \quad (3)$$

Для отримання залежності $\rho_{\text{бетону}}$ (а саме цей показник є метою метрологічного процесу) від вимірюваного значення $\varepsilon_{\text{бетон}}$ виконуємо експериментальне тарування засобу вимірювання, використовуючи віртуальне представлення об'єкта. Оскільки діелектрична проникність повітря $\varepsilon_{\text{пов}}$ практично дорівнює 1, маємо з (2):

$$d_{\text{вирт}} = \varepsilon_o \frac{S}{C_{\text{вим з повітрям}}}. \quad (4)$$

Тарування виконували за допомогою окремого плоского конденсатора, в якому відстань між обкладками дорівнювала $d_{\text{вирт}}$. В результаті були теоретично-експериментально отримані моделі, необхідні для використання в системах автоматизованого проектування комплексних засобів вимірювання щільності бетону, необхідних при управлінні технологічним процесом виготовлення залізобетонних виробів великих розмірів із геометрично складною арматурою.

Список літератури:

1. Основні питання проектування та повірки цифрових вимірювальних приладів. URL: http://elib.lutsk-ntu.com.ua/book/fepes/pruladobyd/2015/15-07/other/lekciya_30_osnovni_pitannya_proektuvannya_ta_povirki_czifrovix_vimiryuval_nix_priladiv.pdf. (11.01.2018).
2. Оборский Г. А., Становский А. Л., Прокопович И. В., Духанина М. А. Выбор метрологического обеспечения управления сложными объектами литейного производства с трудноизмеримыми параметрами // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. № 6/3 (72). С. 41–47.
3. Brignell J. E., Young R. Computer-aided measurement // Journal of Physics E: Scientific Instruments. № 12(6).
4. Куц Ю. В., Лисенко Ю. Ю., Протасов А. Г. Принципи проектування засобів електромагнітного неруйнівного контролю // Матеріали 8-ї міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання». 2017. С. 44–45.
5. Щербинский В. Г., Пафос С. К., Гурвич А. К. Ультразвуковая дефектоскопия: вчера, сегодня, завтра // В мире неразрушающего контроля. 2002. № 4. С. 18.
6. Становская Т. П., Духанина М. А., Шихирева Ю. В. Инфракрасный метод измерения тепловых параметров затвердевания бетона // Холодильная техника і технологія. 2013. № 2 (142). С. 112–115.
7. Angrisani L., Bechou L., Dallet D., Daponte P., Ousten Y. Detection and location of defects in electronic devices by means of scanning ultrasonic microscopy and the wavelet transform measurement // In MEASUREMENT. 2002. № 31(2). P. 77–91.
8. Matlack K. H., Kim J.-Y., Jacobs L. J., Qu J. Review of Second Harmonic Generation Measurement Techniques for Material State Determination in Metals // Journal of Nondestructive Evaluation. 2015. № 34 (1). С. 273.
9. Clifford K. Ho., Robinson A., Miller D. R., Davis M. J. Overview of Sensors and Needs for Environmental Monitoring // Sensors. 2005. № 5. С. 4–37.
10. Яковлев М. Ю., Волобуєв А. П. Оцінка метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки авіаційних радіотехнічних систем на етапі проектування // Системи озброєння і військова техніка. 2007. № 2. С. 53–55.
11. Мищенко С. В., Цветков Э. И., Чернышова Т. И. Метрологическая надежность измерительных средств / Машиностроение, 2001. 96 с.
12. Чинков В. Н., Мельниченко А. Е. Избыточная модель надежной эксплуатации средств измерительной техники // Украинский метрологический журнал. 2004. № 2. С. 57–60.
13. Механічні методи неруйнівного контролю міцності бетону. URL: <http://budmayster.pp.ua/1511-mehanchn-metodi-neruynvnogo-kontrolyu-mcnost-betonu.html>. (11.11.2017).
14. Прокопович І. В., Духаніна М. О., Становська І. І., Валід Ш. Х., Добровольська В. В., Торопенко О. В. Метрологічне забезпечення контролю щільності гетерогенних матеріалів // Вісник НТУ «ХПІ»: Механіко-технологічні системи та комплекси. Харків, 2016. № 50(1222). С. 22–28.