

УДК 681.121

І.В. Коробко

Національний технічний університет України "КПІ"

МОДЕЛЮВАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ВИТРАТИ РІДИН І ГАЗІВ

В роботі розглядаються задачі та методологія математичного моделювання приладів і систем вимірювання витрати та кількості паливно-енергетичних ресурсів і води, визначені основні етапи створення математичних моделей вимірювальних перетворювачів витрати при проектуванні сучасних засобів вимірювання.

Ключові слова: *витрата, рідини, гази, вимірювальні перетворювачі, проектування, моделювання.*

Постановка проблеми. Дефіцит енергетичних ресурсів і неминуче його зростання у майбутньому обумовлюють особливу актуальність проблеми раціонального та ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів і води (ПЕРВ). Для організації дієвої системи енергозбереження необхідно реалізувати ефективну систему вимірювання і обліку витрати та кількості ПЕРВ. Це визначає важливість задачі розроблення сучасних приладів і систем вимірювання витрати та кількості ПЕРВ з високими метрологічними і експлуатаційними характеристиками.

Традиційним шляхом розв'язання поставлених задач є емпіричний метод з проведенням великої кількості експериментальних досліджень макетних зразків. Виготовлення таких зразків і проведення експериментальних випробувань пов'язано з великими матеріальними та часовими затратами

Ефективне розв'язання таких задач можливе за рахунок створення системи проектування вимірювальних приладів з оптимальними конструктивними параметрами, які б розв'язували проблеми побудови високоефективних вимірювальних систем з високими метрологічними та експлуатаційними показниками. Базою для створення таких систем являються комплексні математичні моделі взаємодії потоків ПЕРВ з чутливими елементами (ЧЕ) вимірювальних перетворювачів витрати (ВПВ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Не дивлячись на все більше розширення застосування методів і приладів вимірювання витрати, процеси, які в них проходять, на сьогоднішній день вивчені недостатньо, а значить і їх точні математичні моделі не створені.

Роботи в цьому напрямі, в основному мають наближені розв'язки взаємодії рідинних потоків з первинними вимірювальними перетворювачами, отримані для випадків визначених потоків (ламінарних та турбулентних) не повністю враховуючи гідродинамічні процеси, які проходять при взаємодії швидкоплинних і швидкозмінних потоків із елементами первинних вимірювальних перетворювачів, які знаходяться у русі [1-4]. Такий досить спрощений опис процесів вимірювання витрати енергоносіїв не відображає всю різнобічність явищ, які виникають при роботі вимірювального приладу.

Досвід роботи над наведеними проблемами показує, що на сьогодні найбільш ефективним є комплексний підхід, суть якого лежить у поєднанні фізичного експерименту із теоретичними дослідженнями і комп'ютерним моделюванням процесів вимірювання витрат ПЕРВ в на основі математичних моделей, що описують їх роботу.

Мета досліджень. Основною метою проектування ВПВ ПЕРВ є вибір найкращого варіанту конструкції з великої множини можливих відповідаючи технічному завданню варіантів відповідно до функції якості. У сучасній практиці проектування інформаційно-вимірювальних систем математичне моделювання займає одне з важливих напрямів та етапів і посідає провідне місце серед інших методів досліджень, особливо завдяки наявності сучасних обчислювальних комплексів та систем. Такі дослідження дозволяють проектувати ВПВ ПЕРВ, які мають задані метрологічні та експлуатаційні характеристики при раціональних значеннях конструктивних параметрів.

Основні задачі та етапи математичного моделювання. Математичне моделювання роботи вимірювальних перетворювачів витрати і кількості є відображенням фізичної сутності процесів вимірювання із властивими їм особливостями та обмеженнями і встановлює зв'язок між

двома об'єктами: реальною системою – ВПВ (оригіналом) та її відтворенням – математичною моделлю.

Порівняно із фізичним, математичне моделювання є більш універсальним і:

- а) дає змогу на основі одного ВПВ здійснити розв'язання цілого класу задач, які мають однакові або подібні математичні описи;
- б) забезпечує простоту переходу від однієї задачі до іншої;
- в) дає можливість моделювання по частинах (тобто декомпонувати систему на частини, моделювати кожну частину окремо і об'єднувати моделі, що відповідають різним підсистемам чи аспектам опису);
- г) прискорює моделювання за рахунок використання швидкодіючих комп'ютерних систем;
- д) потребує менших витрат внаслідок відсутності необхідності побудови великої кількості фізичних моделей і заміни суттєвої частки емпіричних досліджень теоретичними.

Використовуючи можливості сучасних комп'ютерних систем математичне моделювання ВПВ ПЕРВ дозволяє розв'язувати такі задачі:

- перевірка гіпотез про дію тих чи інших фізичних факторів на ефективність процесу вимірювання витрати і кількості ПЕРВ;
- визначення метрологічних характеристик ВПВ;
- визначення впливу різних фізичних факторів на метрологічні характеристики ВПВ;
- уточнення математичних моделей і розрахункових алгоритмів;
- визначення сприятливих технологічних режимів функціонування ВПВ та створення інженерних методів їх розрахунків;
- оптимізація конструктивних параметрів ВПВ ПЕРВ;
- постановка обчислювальних експериментів із візуалізацією процесів на екрані комп'ютера.

Математичне моделювання ВПВ ПЕРВ виступає як метод пізнання процесу вимірювання витрати і кількості, а також прогнозування та управління і проходить такі етапи:

- постановка задачі, тобто прийняття рішення про необхідність моделювання і його мету. На цьому етапі визначається і формулюється мета досліджень. З цієї мети випливає сукупність властивостей вимірювального середовища та самих ВПВ ПЕРВ:
- розроблення математичної моделі ВПВ;
- проведення на основі розроблених моделей досліджень ВПВ;
- перевірка адекватності розробленої математичної моделі;
- корегування математичної моделі.

До математичних моделей ВПВ висуваються вимоги адекватності, достатньої універсальності і економічності. Вимога точності міститься у вимозі адекватності. Використання математичної моделі без перевірки її на відповідність вимогам адекватності (точності) недопустима і може привести до грубих помилок при проектуванні, керуванні і експлуатації вимірювальних систем.

Для точності і адекватності моделі справедлива вимога максимізації: чим більша точність (менша похибка) моделі і у чим більшій області зовнішніх параметрів модель не виходить за межі цієї точності, тим краще. Але збільшення області адекватності спричиняє втрати в економічності, тому вибирають компромісний варіант із міркувань, що визначаються аспектами проектування.

Щодо універсальності, то не можна сказати, що чим модель універсальніша, тим вона краща. Надлишок інформації не менш шкідливий, ніж її недостатня кількість. Модель повинна відбивати ті і лише ті властивості, які відповідають меті моделювання. Крім того, універсальність і економічність є протиріччящими параметрами: чим модель універсальніша, тим вона, переважно, менш економічна, і розв'язок тут переважно буває компромісним.

Побудова математичних моделей ВПВ ПЕРВ, як і будь-яких складних технічних систем, можна умовно розбити на 4 основних етапи (рис.):

- змістовного опису;
- формалізації опису;
- достаточної побудови моделі (ідентифікації параметрів і перевірки адекватності моделі);
- перегляду і вдосконалення моделі за результатами узагальнення емпірично накопичених даних [5-6].

На етапі змістовного опису формулюються закони, які об'єднують між собою об'єкти моделі. На цьому етапі визначаються об'єкти моделі і накопичуються факти, що стосуються взаємодії вимірювального потоку із ВПВ і дозволяють виявити їх взаємозв'язки. Цей етап закінчується записом у математичних термінах сформульованих якісних представлень про зв'язки

між об'єктами моделі з обмовленням граничних умов. Визначення об'єктів моделі і їх взаємозв'язків є вихідним положенням ("аксіомами") гіпотетичної моделі, тому можна сказати, що на етапі змістовного опису формується аксіоматика моделі і синтезується її структура. Остання може бути представлена як описово-аналітично, у вигляді опису зв'язків, так і графічно.

Основною задачею етапу формалізації є виявлення математичних співвідношень, що характеризують ВПВ з точки зору необхідності отримання математичної моделі, яка буде покладена за основу системи оптимізації конструктивних параметрів даного типу ВПВ. Ці співвідношення розробляються на основі гідродинамічних процесів та фізичних законів взаємодії ЧЕ ВПВ з вимірювальним середовищем і впливу зовнішніх факторів. На цьому етапі визначається форма представлення математичної моделі і проводяться дослідження математичних задач, які впливають із математичних моделей.

Серед них основним є розв'язання прямої задачі, тобто отримання в результаті аналізу моделі ВПВ вихідних даних для подальшого їх зіставлення із результатами експериментальних досліджень.

Створення математичної моделі якогось об'єкта майже завжди вимагає від її розробника йти на застосування певних припущень та обмежень. Для достовірної оцінки ступеня наближення моделі до реального зразка ВПВР необхідно кількісно оцінити ступінь її адекватності, що залежить як від вивченості процесу, так і від отриманих експериментальних даних [7].

Етап остаточної побудови моделі (ідентифікації параметрів і перевірки адекватності моделі) є етапом виявлення того, чи задовольняє прийнята (гіпотетична) модель критеріям практичного застосування, тобто виявлення того, чи узгоджуються результати згідно рис. 1.

Етапи побудови математичної моделі ВПВ ПЕРВ експериментальних досліджень із теоретичними наслідками моделі ВПВ в межах точності спостережень. Якщо модель була повністю визначена, тобто всі її параметри були задані, то виявлення відхилень теоретичних наслідків від результатів спостережень дає розв'язок прямої задачі із наступною оцінкою відхилень. При виході відхилень за межі точності спостережень така математична модель не може бути прийнята і потребує коригування.

Задачі, в яких визначаються характеристики моделі (параметричні, функціональні) таким чином, щоб вихідна інформація в межах точності спостережень піддавалася б зіставленню з результатами експериментальних досліджень, називаються зворотними задачами (задачами ідентифікації параметрів моделі). Застосування критерію практики до оцінки математичних моделей ВПВ дозволяє робити висновок про вірність положень, які лежать в основі досліджуваної моделі. На цьому етапі відбувається перевірка на адекватність та параметризація моделі.

На етапі перегляду і вдосконалення моделі за результатами узагальнення емпірично накопичених даних здійснюється аналіз математичної моделі ВПВ у процесі накопичення експериментальних даних і її модернізація та уточнення.

Для створення систем оптимального проектування ВПВ ПЕРВ необхідно розробити комплексну математичну модель процесу вимірювання, яка б включала в собі моделі потоку вимірюваного середовища та самих ВПВ.

Методологія математичного моделювання ВПВ ПЕРВ базується на чисельних методах дослідження динаміки рідин та газів при їх взаємодії із ЧЕ ВПВ, що знаходяться у потоці. Потік вимірювального середовища може бути представлено різними математичними моделями в залежності від характеру самого потоку, конфігурації зовнішніх обмежувальних стінок, стану трубопроводів та інших факторів. При цьому використовуються технології, відомі у нас за англійською аббревіатурою CFD (Computational Fluid Dynamics) [8]. Вони дозволяють отримати тиск, а також величину і напрями швидкості у будь-якій точці області, що описується. Це дає суттєву перевагу над натурними експериментами, які потребують значних матеріальних та часових затрат і не завжди дають бажаний результат.

Висновки. Розробка математичних моделей і комп'ютерне моделювання дає можливість глибше зрозуміти і пояснити складні нестационарні гідродинамічні процеси взаємодії потоків вимірювальних середовищ із чутливими елементами первинних вимірювальних перетворювачів витрат і кількості. З іншого боку, порівняння із дослідними даними дозволяє уточнити математичні моделі. Такі моделі покладені в основу систем оптимального проектування ВПВ ПЕРВ із заданими метрологічними характеристиками та раціональними конструктивними параметрами.

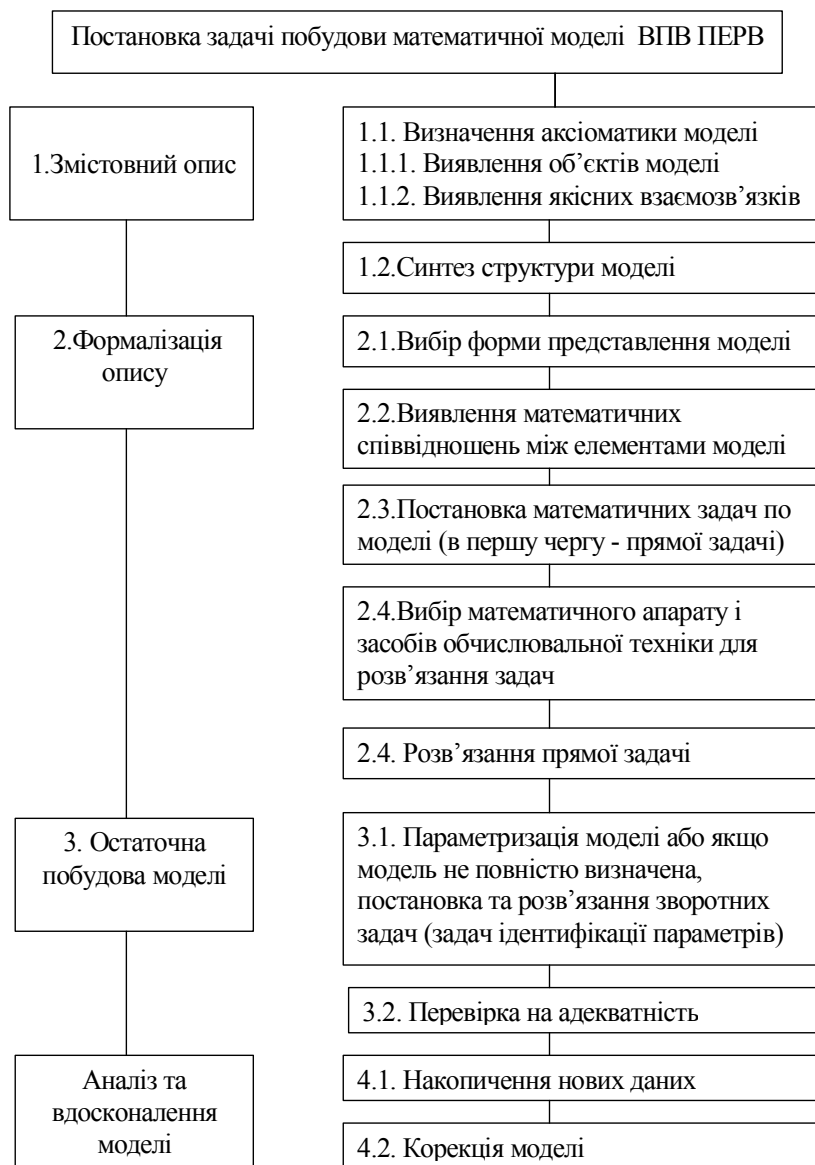


Рис. 1. Етапи побудови математичної моделі ВПВ ПЕРВ

1. Бошняк Л.Л. Измерения при теплотехнических исследованиях. – Л.: Машиностроение, 1974. – С. 448.
2. Шорников Е.А. Расходомеры и счетчики газа, узлы учета: Справочник. – СПб: Политехника, 2003. – С. 127.
3. Кремлёвский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник: Кн. 1./ – 5-е изд., пере раб. и доп. – СПб.: Политехника, 2002. – С. 410.
4. Кремлёвский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник: Кн. 2 / Под общ. ред. Е.А. Шорникова. – 5-е изд., пере раб. и доп. – СПб.: Политехника, 2004. – С. 412.
5. Тихонов А.П. Математическая модель // В кн.: Математическая энциклопедия.- М.: Наука, 1990.- С. 574-575.
6. Гліненко Л.К., Сухоносів О.Г. Основи моделювання технічних систем. – Навч. посіб. – Львів, „Бескид Біт”, - 2003. – С. 176.
7. Румшійський Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: Наука, 1971. – С. 192.
8. FLUENT v5.5. Documentation. User's Guide. 1998.