

СЕКЦІЯ 8
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.
ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБЛІКУ
ЕНЕРГОНОСІЇВ

УДК 62-3; 620.9; 621.5

СИСТЕМА КОМБІНОВАНОГО ОПАЛЕННЯ ПРИМІЩЕНЬ З
АВТОМАТИЧНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ РОЗПОДІЛУ ПОТОКІВ

Симонюк В. П., Денисюк В. Ю., Лапченко Ю. С.
Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна
E-mail: volodimir_simonyuk@ukr.net

Сонячна енергія є одним із найдоступніших регулярних природних ресурсів, користуватися яким можна безкоштовно. Так, енергію сонця можна успішно використовувати в якості альтернативного джерела для обігріву приміщень, в тому числі, застосувавши сонячно-колекторне теплопостачання, яке масштабно використовується у багатьох країнах світу.

Відомо, що в опалювальний сезон споживання теплової енергії суттєво зростає, навантаження на теплову мережу та електромережу для живлення електрообігріву суттєво збільшується, а тому застосування технічних рішень, що дозволяють економити використання стаціонарних мереж, є дуже актуальним питанням у господарському енергобалансі.

Також, існують системи повітряного опалення житлових будинків за допомогою використання сонця, які розташовують на даху або з південно розміщених стінах будівлі. Зазвичай, вони мають плоский сонячний колектор, теплоакumuлююче покриття та мають теплообмінник, що складений з ребер або пластин, які проходять від стінок камери у теплоакumuлююче покриття для покращення теплообміну. Такі конструкції надають можливість включити їх паралельно із уже існуючими системами опалення.

Збереження набутої в процесі опалення енергії в приміщенні, відбувається відомими конструкціями будинків, тепла ефективність яких досягається шляхом нанесення шару теплоізоляції на зовнішню поверхню стін [1, 2]. В одних конструкціях теплоізоляційні плити кріплять до зовнішніх стін за допомогою пристрілювальних дюбелями елементів кріплення з встановленими на них облицювальними плитками. В інших конструкціях на зовнішню поверхню стін наклеюють пінополістірольні плити з наступним нанесенням шару штукатурки на армованій сітці. В кожному з наведених прикладів за рахунок суттєвого збільшення опору теплопередачі зовнішніх стін підвищується тепла ефективність будівлі.

Система комбінованого опалення приміщень з автоматичним регулюванням розподілу потоків складається із таких основних вузлів як – вузол нагріву повітря, блок автоматичного регулювання та акумулююча енергетична станція.

На рис. 1 показана спрощена схема вузла нагріву повітря та автоматичного регулювання, яку можна доєднати до існуючої або знову створеної акумулюючої енергетичної станції.

Система комбінованого опалення приміщень з автоматичним регулюванням розподілу потоків [3, 4] працює наступним чином. В колектор 1 через фільтр 2 по патрубку 3, поступає повітря. У світлу пору доби нагріте у сонячному колекторі 1 повітря виштовхується з вхідного патрубка цього колектора у теплоізольовану ділянку повітропроводу 4, а з неї проходить далі, виходячи крізь отвори у комбінований повітропровід 4 у приміщення 10, що підлягає обігріву, нагріваючи при цьому повітря у всьому об'ємі цього приміщення і створюючи комфортні умови для користувачів. В разі зайвого нагріву приміщення, виконавчий механізм блоку 9 автоматичного регулювання зміщує заслінку 7 перекриваючи частково подачу теплого повітря у приміщення. В разі відсутності потреби в обігріві приміщення блок 9 автоматичного регулювання перенаправляє потік нагрітого повітря в акумулюючу енергетичну станцію (на рис. 1 не показана) для її подальшого накопичення або перетворення в електричну енергію.

Після віддачі тепла в приміщення, охолоджене повітря може бути випущене на зовні або використане повторно, тобто система може бути замкнутого циклу.

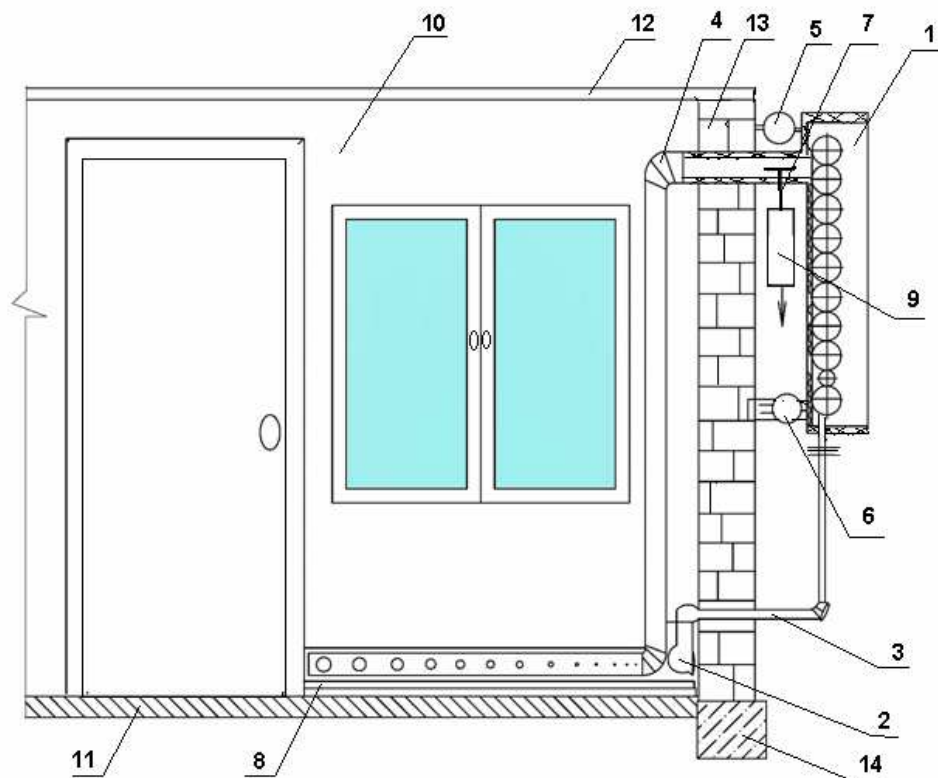


Рис. 1. Система комбінованого опалення приміщень з автоматичним регулюванням розподілу потоків

Нижня ділянка повітропроводу 8 із теплоакумулюючим покриттям нагрівається за час проходження нагрітого повітря і у темну пору доби підтримує тепло у приміщенні.

Слід зазначити, що теплоакумулююче пластинчасте покриття у вигляді прокладок у жолобі 8 виконують з плит (наприклад, «Karl Liapol Kominoff») шляхом їх розрізання на видовжені пластинки, які складають у стрічки, покриваючи поверхню жолоба 8. Що стосується сонячного колектора 1, то його монтують на зовнішній сонячній стіні будівлі з можливістю відхилення від вертикального положення за допомогою шарнірних кріплень, розташовуючи його теплопоглинаючу поверхню під потрібним кутом до сонячного опромінювання протягом дня. Регулювання положення сонячного колектора дає змогу підвищити ККД використання сонячної енергії.

В міру охолодження повітропроводу 8, тепла енергія може подаватись із акумулюючої енергетичної станції безпосередньо за допомогою блока автоматичного регулювання 9.

Перетворення теплової енергії в електричну та навпаки проводиться перетворювачами основанийими на ефекті Пельтьє та ефекті Зеєбека.

Робота блока автоматичного регулювання потоком повітря базується на основі регуляторів прямої дії компанії DANFOSS.

Конструкція та принцип роботи акумулюючої енергетичної станції на даний час допрацьовується та знаходиться в підготовчій стадії оформлення охоронних документів інтелектуальної власності.

Ключові слова: сонячний колектор, повітряне опалення, повітропровід, будинок, трубопровід, заслінка, автоматичний регулятор.

Література

- [1] Дудикевич Ю. Б. Енергоощадні котеджі: методики проектування будинків без газу. Львів: Сполом, 2011. 192 с.
- [2] Галько С. В., Жарков В. Я., А.В. Жарков А. В. Технології та засоби перетворення відновлюваних джерел енергії для приватних домогосподарств: монографія. Мелітополь: «Люкс», 2019. 215 с.
- [3] Патент на корисну модель 153838 Україна, МПК F24D 5/02 (2006/01), F24S 10/00, F24S 10/70 (2018/01). Спосіб монтажу системи повітряного опалення приміщень. В. Ю. Денисюк, В. П. Симонюк, Ю. С. Лапченко, О. М. Решетило. Заявник і патентовласник: ЛНТУ. № u202300410; заявл. 06.02.2023; опубл. 06.09.2023; Бюл. №36.
- [4] Патент на корисну модель 154413 Україна, МПК F24 20/00, F24S 60/00. Система повітряного опалення. В. Ю. Денисюк, В. П. Симонюк, Ю. С. Лапченко, Е. В. Кужель. Заявник і патентовласник: ЛНТУ. № u202205008; заявл. 26.12.2022; опубл. 15.11.2023; Бюл. №46.

УДК 621.311

ІНДИВІДУАЛЬНЕ СИМЕТРУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ ОДНОФАЗНИХ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Філянін Д. В., Калінчик В. П., Пирятинський В. В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-Mail: danielfilyanin@gmail.com, vkalin@i.ua, vlad.2033.2034@gmail.com

Електрообілі представляють собою передовий тип транспортних засобів, що визначається використанням електричних систем для приводу та переміщення. Цей клас транспортних засобів пройшов значний шлях у своєму розвитку, виходячи за межі концепції екологічно чистого транспорту і стаючи ключовим чинником для зміни парадигми у сфері автомобільного виробництва.

В умовах стрімкого розвитку технологій електрообілів та їх поширення серед власників транспортних засобів, особливе значення набуває інфраструктура заряджання. Однією з важливих складових цієї інфраструктури є однофазні зарядні станції. Ці станції відіграють ключову роль у забезпеченні доступу до швидкого та зручного заряджання електричних транспортних засобів, зокрема тих, які працюють на однофазній системі живлення.

Однофазні зарядні станції призначені, в першу чергу, для індивідуального використання. Головна перевага однофазних зарядних станцій для електрообілів – це можливість підключення апарату до звичайної побутової електромережі. Наприклад, дозволяється їх установка у звичайному гаражі.

Максимальна потужність однофазних зарядних станцій складає 7 кВт, що викликає цілу низку проблем, пов'язаних з несиметричними режимами роботи електричної мережі: перевантаження фаз, збільшення втрат енергії, неправильне функціонування пристроїв, підвищений ризик аварій, погіршення якості електропостачання. При підключенні однофазних зарядних станцій виникає ще одна проблема. Потужність, яку можна підключити до власної ділянки, не перевищує 16 кВт. Щоб запросити більше, потрібно подати окрему заяву і при цьому вже не можна розраховувати на пільгові тарифи. Таким чином ми можемо підключити до однієї фази максимальне навантаження 5,33 кВт. Це не дозволить нам повністю використовувати потужність зарядної станції, що, в свою чергу, знижує швидкість заряджання електрообіля. Також до повністю навантаженої фази зарядною станцією вже неможливо підключити будь-яке навантаження.

Вирішити цю проблему можливо за рахунок симетрування навантажень, що дозволить розподілити однофазне навантаження між трьома фазами. В якості технічних засобів для вирішення цієї задачі підходять для використання:

1. симетруючі трансформатори (рис. 1);
2. інвертори (рис. 2).

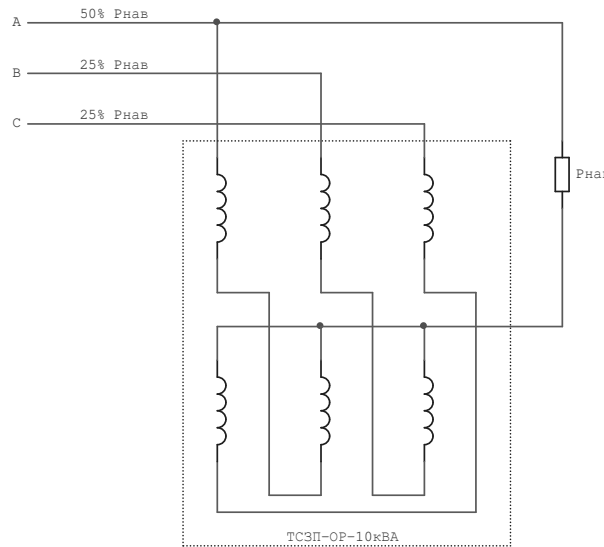


Рис. 1. Підключення однофазного навантаження до симетруючого трансформатора

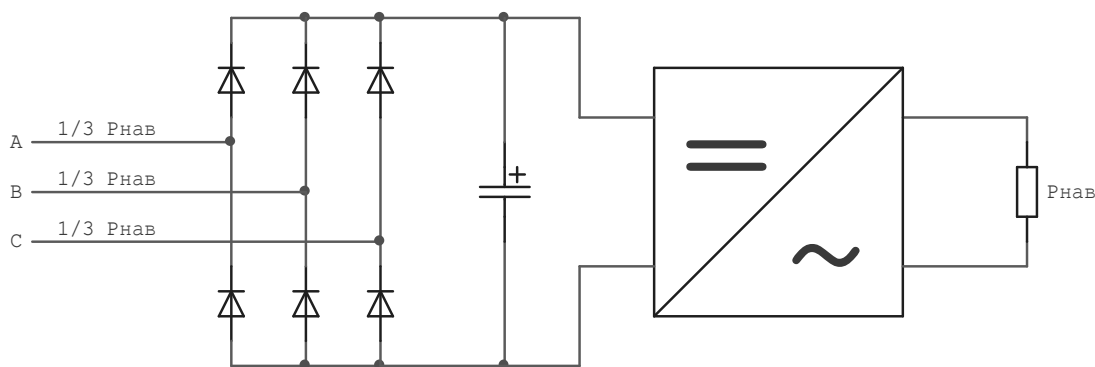


Рис. 2. Підключення однофазного навантаження до інвертора

Особливістю використання симетруючого трансформатора є те, що він розподіляє однофазне навантаження між фазами в співвідношенні 50% / 25% / 25%. Але навіть у випадку найбільш навантаженої фази максимальне навантаження буде становитиме 3,5 кВт, що дозволить використовувати однофазну зарядну станцію на повну потужність.

Підсумовуючи вищесказане можна стверджувати:

- при максимальній стандартній потужності приєднання побутового споживача 16 кВт неможливо використовувати однофазну зарядну станцію на повну потужність;
- використання симетруючих пристроїв дозволяє розподілити однофазне навантаження більш рівномірно між фазами, що дозволяє використовувати зарядну станцію на повну потужність;
- найбільш ефективним технічним рішенням для симетрування однофазного навантаження є використання інвертора.

Ключові слова: електромобіль, однофазна зарядна станція, симетрування навантаження.

УДК 681.121.42

СУРОГАТНІ МОДЕЛІ У ВИТРАТОМЕТРІЇ

Гришанова І. А.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: irgryshanova@gmail.com

Інтеграція машинного навчання (*ML – machine learning*) і штучного інтелекту (*AI – artificial intelligence*) у широкий спектр промислових процесів нещодавно набула стрімкого розвитку і призвела до прогресу в багатьох галузях техніки. Взаємодія обох технологій дає неабиякий позитивний ефект. Для чисельного моделювання це означає швидші, точніші прогнози та оптимізовані моделі. У сфері тестування вартісні експерименти можуть бути доповнені або замінені *ML*. Великі обсяги даних і зображень можна аналізувати швидко та «розумно», а виробничі процеси можна зробити більш ефективними та раціональними.

Візьмемо типове застосування у витратометрії на базі різноманітних технологічних процесів: потік потребує вимірювання в певному місці на заводі, але є вигин труби прямо вище або нижче за течією від точки вимірювання. Рідина створює завихрення та турбулентність, і тому не тече плавно через прилад, як очікує витратомір. Це суттєво знижує прогнозовану точність вимірювання. Протягом тривалого часу, щоб мати справу з такими порушеннями потоку, операторам установок доводилося або дотримуватись рекомендованих відстаней на вході та виході, або використовувати прилад із обмеженою витратомірною ділянкою. Отже виникає необхідність у створенні приладу, який би забезпечував точні вимірювання незалежно від умов входу. Останнім часом такі прилади розроблялися за допомогою чисельного моделювання.

Чисельне моделювання дає можливість симуляції процесу вимірювання за допомогою відповідного програмного забезпечення, а потім проводити тестування моделі за різними параметрами. За допомогою такого методу є можливість просуватися в бік розробки інноваційних продуктів, яка колись здавалася недосяжною і яку більше неможливо зробити звичайними засобами. При такому підході комп'ютерна модель є лише репрезентативною для конкретної проблеми, що розглядається. Моделювання потоку вимагає іншої моделі порівняно з тим, коли обчислюється вібрація, температурозалежність чи ще якісь властивості приладу. За допомогою створеної моделі можна змоделювати незліченну кількість проєктів і потенційних проблем. Виникає багато питань, зокрема, як різні діаметри витратомірної ділянки впливають на потік, яким є вплив тиску в системі, в'язкості середовища або таких факторів, як вигин труби на 90 градусів безпосередньо перед приладом. Це дасть змогу дізнатися, як поводитиметься прилад, ще до того, як він набуде фізичної форми. Велику кількість параметрів вже неможливо охопити за допомогою

тривіальних засобів розрахунку. Натомість комп'ютери перевіряють тисячі віртуальних прототипів, перш ніж розроблений прилад буде створено фізично. Симуляції можна використовувати для вдосконалення конструкції витратомірів до моменту, коли прилади стають більш стійкими до перешкод. Сьогодні вже є успішні спроби чітко визначити певну унікальну зону точного вимірювання за допомогою комп'ютера, який перевіряє усе відповідно до ідей і специфікацій команди розробників.

В сучасних умовах методи моделювання мають бути інтегровані в усі процеси розробки. Розробка на ранніх стадіях також виграє від фундаментальних рішень, що підтримуються моделюванням. У цьому випадку розробникам більше не потрібно залучати технічних експертів. Подібні віртуальні розробки стали можливими завдяки зростанню обчислювальної потужності, все більш зручному програмному забезпеченню та сурогатним моделям. Останні доповнюють чисельне моделювання за допомогою математичних кореляцій і машинного навчання. У той час як, наприклад, у механіці рідини ми можемо запускати сотні чисельних симуляцій протягом 1-2 днів, ми також здатні оптимізувати ще тисячі проектів автоматично, використовуючи сурогатні моделі. Багато інновацій були б неможливими без тісного симбіозу моделювання та експерименту. Симуляція надає інженерам-розробникам простір для виконання своїх фактичних завдань, а саме фізичним питанням, поки комп'ютер розраховує сценарії. І тут якраз потрібен людський фактор. Комп'ютерне моделювання – це не складно. Набагато складніше навчити комп'ютер, що таке ефективний прилад з високими метрологічними показниками. Лише тоді, коли людина точно розуміє та визначає важливі фактори, машина може виконувати свою роботу належним чином.

Сурогатне моделювання є життєздатним рішенням для додатків, що включають повторювані оцінки дорогих моделей обчислювальної гідродинаміки (CFD), таких як кількісне визначення невизначеності та зворотні проблеми.

Сурогатне моделювання – це окремий випадок керованого машинного навчання, що застосовується в галузі інженерного проектування. Замість навчання на попередньо фіксованому наборі даних сурогатні моделі використовують активне навчання, щоб збагачувати навчальні дані по ходу навчання, що значно покращує ефективність і точність отримання відповідних знань.

У задачах концептуального проектування для економії часу буває необхідно замінити точну, але обчислювально складну фізичну модель на сурогатну модель, що швидко обраховується. Сурогатна модель апроксимує залежність, реалізовану розглядуваною фізичною моделлю, з необхідною для подальшого використання точністю, і будується за даними (кінцевій множині пар "набір вхідних параметрів" - "значення вихідних характеристик фізичної моделі для набору вхідних параметрів").

Навчання та тестування цих моделей базуються на результатах симуляції різноманітних сценаріїв, зокрема сценаріїв течії за умови наявності всіляких конфігурацій трубопровідних систем. Навчальні набори даних містять статистику потоку з різних параметрів, а сурогати просять «з'єднати точки», тобто передбачити статистику потоку для невидимих значень цих параметрів. Сурогати на основі *KNN* (*K-nearest neighbour*) і *MLP* (*multi-layer perceptron*) підходів працюють на порядки швидше, ніж алгоритм *LES*, і використовують лише частину обчислювальних ресурсів. *KNN* і *MLP* можуть реконструювати усереднену за часом тривимірну статистику потоку для комбінованої статистики потоку при навчанні з використанням багатьох навчальних вибірок (режим великих даних). У міру того, як кількість навчальних зразків зменшується, точність моделі *MLP* погіршується більш поступово, демонструючи вищу загальну продуктивність. Дослідження продуктивності моделі для збору статистики окремих потоків та їхньої просторової мінливості підкреслює, що специфічні для *ML* метрики можуть призвести до недовіри до продуктивності моделі з фізичної точки зору.

Розробка і удосконалення сурогатних моделей триває. Вони вже не потребують повторного моделювання *CFD* для застосування, оскільки структура вхідних даних імітує показання приладу. Крім того, низькі обчислювальні витрати на виконання моделі та хороша точність роблять її ефективною альтернативою *CFD* для додатків, де потрібні швидкі передбачення складних конфігурацій потоку, наприклад прогнозне керування моделлю. Слід також зазначити, що *CFD* моделювання часто обчислювально громіздке, особливо для потоків із турбулентністю та складною геометрією. Крім того, генерація сітки також зазвичай несе величезний тягар, зокрема, коли враховується рухома межа або велика геометрична варіація. Великі обчислювальні витрати значною мірою обмежують використання принципової *CFD*-моделі для прогнозів у реальному часі та аналізу багатьох запитів, які дуже актуальні для різних наукових задач у тій самій витратометрії. Як альтернатива, економічно ефективна сурогатна модель є обчислювально можливим способом вирішення вищезгаданих проблем.

Використання сучасних сурогатних моделей дозволяє

- отримати більш швидку збіжність до прийнятного оптимуму за меншу кількість ітерацій;
- істотно зменшити час оптимізації з кількох днів до кількох годин.

Майбутні напрямки досліджень включають розробку, аналіз і оцінку прискорених алгоритмів із набагато меншим використанням інформації моделі істинності. Крім того, обробку залишкових помилок, отриманих від побудови сурогатних регресійних моделей, необхідно аналізувати в межах оптимізаційної системи, щоб забезпечити ефективно, суворе обмеження оптимуму моделі «істинності».

Нарешті, слід зауважити, що досі залишається багато відкритих питань, пов'язаних з алгоритмами машинного навчання, моделями, керованими

даними, і тим, як вони взаємодіють зі стратегіями математичних програм. Багато досліджень ще належить провести.

Ключові слова: машинне навчання, сурогатна модель.

УДК 681.121.89.082.4

ОГЛЯД ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЛЯ ЗАДАЧ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ВИТРАТОМЕТРІЇ

Острей Я. С., Роман В. І.

Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна

E-mail: yaroslava.ostrei.av.2021@lpnu.ua, vitalii.i.roman@lpnu.ua

Відносно традиційних методів вимірювання витрати, ультразвукові витратоміри (УЗВ) мають ряд переваг, зокрема: широкий діапазон; двонаправлений режим; незначний вплив на структуру потоку; відсутність деталей, які зношуються від динамічної взаємодії з потоком та багато інших [1, 2]. Попри переваги, УЗВ властиві й недоліки [1, 2], як от чутливість до зміни просторової структури профілю швидкості потоку під дією різноманітних джерел (місцеві опори, регулююча апаратура та інше втручання в потік). Збільшення кількості акустичних каналів (АК) УЗВ, збільшення відстані між УЗВ та джерелом спотворення профілю швидкості чи застосування спеціальних пристроїв підготовки потоку, є тими заходами, які дозволяють усувати зазначений недолік [3]. Та цього все одно не є достатньо, адже умови застосування УЗВ постійно змінюються, а вимоги до точності зростають, особливо в тих випадках, коли йде мова про облік дороговартісних енергоносіїв. Особливо це стосується тих випадків, коли вплив на точність залежить не тільки від якості УЗВ як приладу, а й рішень, які приймає людина, що його використовує – недотримання вимог інсталяції або відсутність їх як таких, чи застосування недосконалих методів інтегрування витрати, або їх обмеженість в умовах спотворень структури швидкості потоку.

Нами встановлено, що подібні проблеми УЗВ, як і решта тут не зазначених, досі залишаються темою багатьох наукових досліджень. Після стрімкого розвитку комп'ютерних технологій та їх доступності науковому загалу, автори таких досліджень часто звертаються й до інтелектуальних методів (штучний інтелект, машинне навчання, нечітка логіка, тощо [4]). З метою систематизації, класифікації та конкретизації спроб дослідників застосувати при дослідженні УЗВ інтелектуальні методи, нами в даній роботі представлено результат огляду наукових статей за відповідною тематикою. Як результат огляду, нами сформовано пріоритетні напрямки подальших досліджень УЗВ, де авторами застосовано поряд з іншими методами також інтелектуальні підходи.

1. Інтегрування швидкостей (обчислення вагових коефіцієнтів АК багатоканальних УЗВ) та прогнозування (інтерполяція, реконструкція) профілів швидкості в умовах спотворень структури потоку. Даний напрям є найбільш

представленим серед відібраних статей, що й не дивно – проблема інтегрування швидкостей та пошук способів усунення впливу спотворень структури потоку на покази УЗВ, вважаються досі відкритими. Щодо інтегрування, то ISO 17089-1 пропонує два підходи – застосування постійних вагових коефіцієнтів на базі числових методів інтегрування, та змінних коефіцієнтів, які можна визначати на базі параметрів потоку, як от швидкість [3].

2. Підвищення продуктивності УЗВ. Даний напрям включає статті, які так чи інакше направлені на підвищення продуктивності УЗВ з використанням інтелектуальних методів дослідження. Це може стосуватись як удосконалення внутрішніх алгоритмів та процесів, а також удосконалення чутливих елементів та вимірювальних схем УЗВ як вимірювального приладу.

3. Розробка нечутливих (адаптованих) до змін параметрів вимірюваного середовища УЗВ. Даний напрям включає статті, які стосуються дослідження методик удосконалення процедури вимірювання витрати УЗВ на базі інтелектуальних підходів, коли покази витратоміра не залежать від зміни параметрів вимірюваного середовища та характеристик вимірювального трубопроводу.

4. Удосконалення процедури калібрування УЗВ. Даний напрям стосується статей, в яких автори пропонують різні удосконалення процесу калібрування УЗВ із використанням інтелектуальних методів дослідження.

5. Розрахунок коефіцієнта стисливості газу. Даний напрям стосується статей, в яких автори пропонують застосовувати інтелектуальні методи дослідження для розрахунку коефіцієнта стисливості природного газу, що використовується для приведення вимірної витрати УЗВ з робочих у стандартні умови.

6. Розробка нових нетрадиційних підходів до вимірювання витрати із застосуванням УЗВ. Даний напрям включає статті, де на нашу думку, автори пропонують нові підходи до застосування ультразвукової теорії для вимірювання витрати, зокрема із залученням інтелектуальних методів дослідження.

Як підсумок, основним інтелектуальним методом дослідження, який найчастіше використовувався в оглянутих нами статтях, є штучні нейронні мережі (ШНМ). Це викликано високою здатністю ШНМ до нелінійного відображення між вхідним та вихідним масивом даних, а також чудова властивість до узагальнення. Додаючи до цього різноманітні методи машинного навчання та методи навчання самих ШНМ, робить застосування інтелектуальних підходів перспективним напрямком дослідження, зокрема для задач УЗВ.

Ключові слова: ультразвукова витратометрія, ультразвукові багатоканальні витратоміри, інтелектуальні методи дослідження, штучні нейронні мережі.

Література

- [1] "GERG Project on ultrasonic gas flow meters, Phase II: technical monograph TM 11," P. Lunde, K.-E. Froysa, M. Vestheim, Eds. Brussels: Groupe Europeen de Recherches Gazieres (GERG),

2000, pp. 110.

- [2] "Measurement of gas by multipath ultrasonic meters," 2nd ed., Technical Report No. 9, AGA Transmission Measurement Committee, Ed. Washington: American Gas Association (AGA), 2003, pp. 84.
- [3] ISO 17089-1:2010, "Measurement of fluid flow in closed conduits – Ultrasonic meters for gas. Part 1: Meters for custody transfer and allocation measurement," Geneva, Switzerland: ISO, 2010.
- [4] E. Hanks and C. O'Neill, "Augmented Intelligence Applied to Natural Gas Ultrasonic Measurement," in Proceedings of the 18th International Flow Measurement Conference 2019 (FLOMEKO 2019), Lisbon, Portugal, June 26-28, 2019.

УДК 621.121

ФУНКЦІОНАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ВИМІРЮВАЧІВ ВИТРАТИ ГАЗУ

Горжій І. В., Писарець А. В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: igor.vnz2016@gmail.com, anna.v@ukr.net

У всьому світі неперервно зростає вартість енергетичних ресурсів, що підвищує актуальність питань їх економії та раціонального використання, а отже й необхідності розробки та впровадження інформаційно-вимірювальних систем та комплексів для обліку витрати та кількості енергоносіїв. Застосуванням витратомірів забезпечується автоматизоване керування виробничими процесами та оптимізація технологічних режимів практично всіх галузей промисловості.

При виборі витратоміра обов'язковими вимогами є:

- висока точність вимірювань;
- надійність;
- мала інерційність;
- широкий динамічний діапазон вимірювання;
- здатність вимірювання за екстремальних умов (йдеться про вимірювання за дуже низьких/високих температур вимірюваного середовища, при дії зовнішніх чинників тощо);
- стабільність вимірювань;
- низьке енергоспоживання тощо.

Ці вимоги повністю задовольняються застосуванням ультразвукового методу вимірювання витрати, який ґрунтується на використанні акустичних (ультразвукових) хвиль для здійснення безконтактних вимірювань [1-4].

В останні десятиліття значного розвитку, поширення та вдосконалення набули ультразвукові витратоміри газу. Такі прилади складаються з гідравлічної та електронної частин. Наявність останньої дозволяє суттєво розширити функціональні можливості приладу з метою автоматизації

визначення його стану, що є важливим кроком у забезпеченні надійності функціонування вузлів обліку газу.

Розширення функціональних можливостей приладу передбачає розробку алгоритмів діагностики стану приладу, що дозволить реалізувати функції автоматизованої діагностики.

Системи самодіагностики необхідні для керування та контролю роботи ультразвукового (УЗ) витратоміра під час експлуатації вузла вимірювання витрати газу за допомогою програмного забезпечення. Завданнями системи самодіагностики УЗ-витратомірів є:

- контроль таких параметрів, як рівень підсилення та якості сигналу ультразвукових сенсорів, відношення швидкості газу по акустичним каналам до середньої швидкості газу в перетворювачі витрати, співвідношення значень вимірної та розрахункової швидкостей залежно від складу газу;
- відображення властивостей потоку (розподіл швидкості у поперечному перерізі, симетрія, оцінка ступеня закручування потоку);
- безперервний автоматичний аналіз результатів вимірювань з метою виявлення несправностей, позаштатних ситуацій, перевищення діапазону вимірювання для подальшого коригування показань;
- моніторинг стану блоку електроніки з веденням архіву подій, у тому числі, нештатних ситуацій та несанкціонованого доступу.

Програмне забезпечення має фіксувати та відображати по кожному акустичному каналу в реальному часі стандартний набір наступних значень:

- 1) відношення швидкості газу за вимірювальним променем до середньої швидкості газу в перетворювачі витрати;
- 2) відношення сигнал/шум;
- 3) підсилення сигналу;
- 4) збіжність вимірної та розрахункової швидкостей звуку при заданому складі газу.

Для створення комплексного програмного забезпечення з гнучким інструментарієм можуть бути реалізовані додаткові інтелектуальні функції приладу:

- 1) відображення діаграми відхилення швидкостей звуку по акустичним каналам від середнього значення вимірної приладом;
- 2) контроль властивостей потоку (профіль, симетрія, завихрення);
- 3) моніторинг стану електронної частини приладу: температура мікроконтролера, його напруга живлення та поточна ємність батарейного блоку (для автономного виконання);
- 4) фіксація позаштатних ситуації, аварій, несправності приладу чи перевищення діапазону вимірювання;
- 5) відображення епюри швидкостей потоку для поперечного перерізу трубопроводу.

Крім відображення діагностичних даних, програмне забезпечення має здійснювати неперервний автоматичний аналіз результатів вимірювань з метою

виявлення несправностей, позаштатних ситуацій, перевищення діапазону вимірювання для автоматичного коригування показів витратоміра та запис усіх подій до захищеного від несанкціонованого доступу архіву.

Необхідність розширення функціональних можливостей ультразвукових вимірювачів витрати газу шляхом впровадження алгоритмів самодіагностики визначається рядом важливих факторів, серед яких: підвищення надійності та точності приладів, оперативне виявлення та попередження потенційних аварій, позаштатного режиму роботи або несправностей. Крім цього, це дозволить забезпечити безперебійну роботу витратомірів ультразвукового класу навіть у випадку виходу з ладу одного з вимірювальних каналів.

Одним з перспективних напрямів подальшого розвитку діагностичних та інформаційних функцій УЗ-витратомірів виступає одержання розрахункових значень густини, в'язкості середовища опосередкованим методом без додаткового застосування спеціального обладнання. Це сприятиме здійсненню точних та ефективних вимірювань у всіх галузях застосування ультразвукових витратомірів.

Література

- [1] І. В. Коробко, О. О. Драчук, В. А. Коваленко, “Приладовий комплекс вимірювання витрати та кількості природного газу на підґрунті різних фізичних методів вимірювання”, *Методи та прилади контролю якості*, № 2(33), с. 66 – 77, 2014.
- [2] М. П. Андрішин, С. О. Канєвський, О. М. Карпаш, Я. С. Марчук, І. С. Петришин, А. А. Руднік, О. Є. Середюк, С. А. Чеховський, *Вимірювання витрати та кількості газу: довідник*. О. М. Карпаш, Ред. Івано-Франківськ, Україна: ПП «Сімик», 2004.
- [3] Й. Й. Білинський, М. В. Гладішевський, “Аналіз ультразвукових засобів вимірювального контролю витрати плинних середовищ”, *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, № 2 (55), с. 23-29, 2016.
- [4] І. В. Коробко, Я. В. Волинська, “Дослідження впливу неоднорідності потоку на роботу ультразвукових вимірювальних перетворювачів витрати”, *Метрологія та прилади*, № 5, с. 67 – 70, 2013.

УДК 681.121.84

УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ВИТРАТОМІРА ЗМІННОГО ПЕРЕПАДУ ТИСКУ, ОПТИМАЛЬНОГО ЗА ТОЧНІСТЮ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ

Матіко Ф. Д., Пасіченко С. С., Сапелюк Р. В.

Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна

*E-mail: fedir.d.matiko@lpnu.ua, stanislav.pasichenko.av.2021@lpnu.ua,
rostyslav.v.sapeliuk@lpnu.ua*

Для розроблення точних та надійних приладів і вимірювальних систем важливо застосовувати досконалі методики їх проектування. Зокрема це стосується витратомірів змінного перепаду тиску, які є складними приладовими системами, що поєднують первинний перетворювач витрати, вимірювальні перетворювачі параметрів потоку, обчислювач витрати та допоміжні пристрої.

Під час проектування вимірювальних систем на основі витратомірів змінного перепаду тиску потрібно врахувати низку вимог до усіх складових системи, тому процес проектування є трудомістким.

Для того, щоб спростити цей процес, забезпечити врахування вимог нормативних документів та можливість аналізувати різні варіанти проектних рішень, процес проектування автоматизують. Зокрема, для проектування витратомірів змінного перепаду тиску фахівцями Львівської політехніки та Інституту енергоаудиту та обліку енергоносіїв розроблено систему автоматизованого проектування САПР «Витратомір». Ця САПР надає інженерам і проектувальникам зручний і потужний інструмент для проектування, розрахунку та аналізу параметрів витратоміра змінного перепаду тиску. Поряд з цим САПР «Витратомір» реалізує проектування відповідно до вимог комплексу стандартів ДСТУ ГОСТ 8.586.1-5:2009 [1].

В САПР «Витратомір» реалізовано методику проектування витратоміра змінного перепаду тиску оптимального за точністю вимірювання витрати. Тобто критерієм оптимізації параметрів витратоміра є досягнення мінімальної невизначеності вимірюваного значення витрати. При цьому САПР дає можливість досліднику аналізувати результати оптимізації (див. рис.1) та обирати параметри витратоміра для наступних етапів проектування.

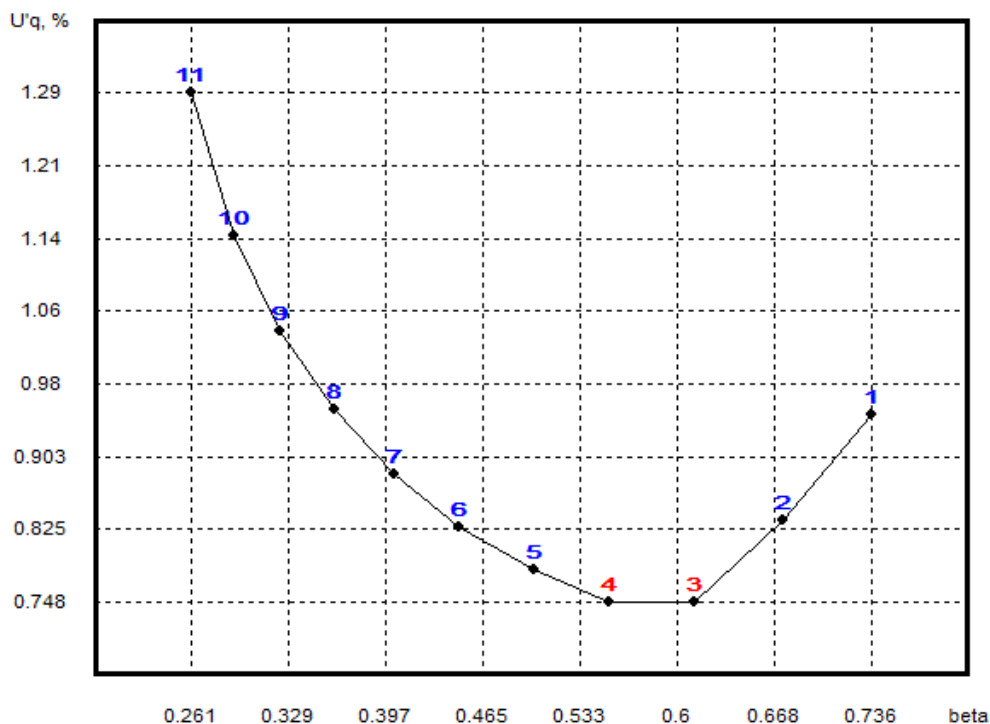


Рис. 1. Приклад залежності відносної розширеної невизначеності вимірюваного значення витрати від відносного діаметра отвору діафрагми

Авторами пропонується удосконалена методика оптимізації параметрів витратоміра, яка ґрунтується на результатах аналізу залежностей абсолютної

невизначеності вимірюваного значення об'єму середовища u_{V_i} від відносного діаметра отвору звужувального пристрою (ЗП) β . Значення невизначеності u_{V_i} отримане за результатами інтегрування абсолютної невизначеності вимірюваного значення витрати u_{Q_c} (див. рис.2) за умови лінійної зміни витрати під час періоду інтегрування.

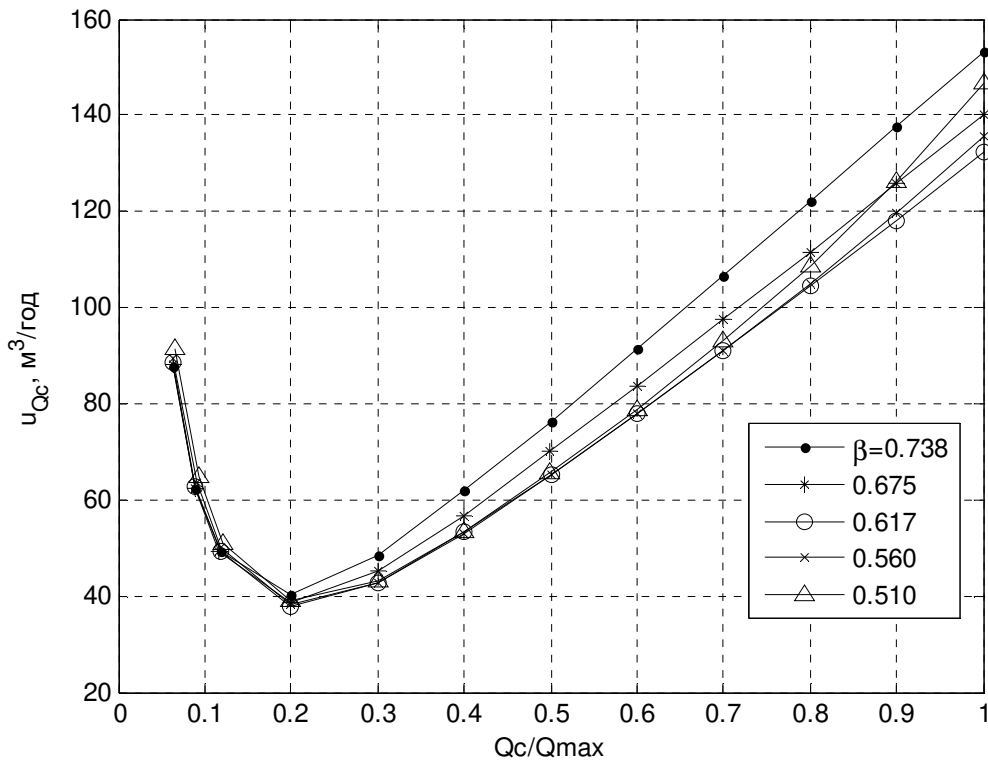


Рис. 2. Залежності стандартної невизначеності u_{Q_c} від відносної витрати для фіксованих значень відносного діаметра отвору діафрагми β

За результатами аналізу залежностей $u_{V_i}(\beta)$ та $U'_{Q_{max}}(\beta)$ (див.табл.1) встановлено, що і u_{V_i} і $U'_{Q_{max}}$ досягають мінімуму за одного і того ж значення $\beta = \beta_{opt}$.

Таблиця 1. Приклад залежності $u_{V_i}(\beta)$ та $U'_{Q_{max}}(\beta)$ для витратоміра встановленого на трубопроводі $D=200$ мм

№	β	Δp_{sp} , кПа	d_{20} , мм	$U'_{Q_{max}}$, %	u_{V_i} , М ³
1	0.73818	10	147.65	1.09	917.3
2	0.67504	16	135.02	1.008	854.8
3	0.61717	25	123.44	0.956	813.6
4	0.55999	40	112.01	0.972	818.5
5	0.5096	63	101.93	1.052	842.5

Тому розв’язування оптимізаційної задачі проектування витратоміра потрібно реалізувати за такою методикою:

1) визначити значення Q_{\max} , для якого здійснюють проектування витратоміра; як видно із рис. 2, витратоміри із різними значеннями β виконують вимірювання витрати газу із стандартною невизначеністю близькою до мінімальної для діапазону значень відносної витрати $Q_c/Q_{\max} < 0,75$; отже слід визначити проектне максимальне значення витрати $Q_{\text{проект}}$ та прийняти максимальне значення витрати рівним $Q_{\max} = 1,3 Q_{\text{проект}}$, що забезпечить роботу витратоміра у діапазоні $Q_c/Q_{\max} < 0,75$;

2) визначити діаметр трубопроводу D_{BT} для встановлення витратоміра;

3) визначити значення $\beta = \beta_{\text{opt}}$ із умови мінімуму цільової функції $U'_{Q_{\max}}(\beta, \Delta p_{zp})$;

4) для отриманого значення $\beta = \beta_{\text{opt}}$ визначити інші конструктивні параметри витратоміра.

Вирішення оптимізаційної задачі проектування ВЗПТ за такою методикою дає змогу знайти такі його параметри, які забезпечують мінімальну невизначеність вимірювання об’єму плинного середовища що важливо для кожного власника вимірювальної системи, оскільки саме об’єм є величиною для комерційних розрахунків між постачальником та споживачем.

Розроблена методика може бути застосована не тільки для ВЗПТ, а й для витратомірів інших типів, для яких є відомою залежність невизначеності вимірюваного значення витрати від витрати газу.

Ключові слова: витратомір змінного перепаду тиску, автоматизоване проектування, об’єм плинного середовища, невизначеність.

Література

[1] ДСТУ ГОСТ 8.586.1-5:2009 Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. – К.: Держспоживстандарт України, 2010.

УДК 681.121

ЦЕНТРАЛІЗОВАНА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ЗБОРУ ДАНИХ З ВУЗЛІВ ОБЛІКУ ГАЗУ

¹⁾Середюк О. Є., ²⁾Смаглюк М. В.

¹⁾Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
Івано-Франківськ, Україна

²⁾АТ «Укргазвидобування», Київ, Україна

E-mail mivt@nung.edu.ua, mykola.smaglyuk@ugv.com.ua

Газова промисловість України – найпотужніша у світі за обсягом транзиту та зберігання блакитного палива, одна з найбільших в континентальній Європі за обсягами власного видобутку та розподілу. Тому актуальним є розроблення

нових сучасних інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) обліку газу, які повинні реалізовувати вимірювання витрати і об'єму транспортованого газу в комерційних цілях не тільки в одиницях об'єму, але і в одиницях енергії [1, 2].

Метою роботи є викладення практичних аспектів розробленої в АТ «Укргазвидобування» ІВС збору даних з вузлів обліку газу.

Станом на сьогоднішній день методи визначення кількості природного газу в одиницях енергії описані в наступних нормативних документах [1-5].

В даних документах запропоновано визначати кількість енергії природного газу шляхом вимірювання або обчислення. На даний час в промислових умовах та масштабах відсутня можливість прямого вимірювання енергії природного газу. Тому кількість енергії природного газу визначається шляхом обчислення. Обчислення енергії базується на окремому вимірюванні об'єму або маси природного газу та його теплоти згоряння. Згідно ДСТУ EN ISO 15112:2020 [2] кількість енергії, що міститься в заданій кількості газу, визначають множенням теплоти його згоряння на відповідну кількість газу.

Згідно Кодексу газотранспортної системи [4] (розділ III, глава 2, пункт 11) обсяг енергії природного газу розраховується шляхом перемноження виміряного об'єму газу, зведеного до стандартних умов, на значення середньозваженої вищої теплоти згоряння газу за цей період.

Такий самий спосіб обчислення енергії газу зазначено і в Кодексі газорозподільної системи [5]. Однак далі на етапі деталізації вибору значення теплоти згоряння для обчислення годинних, добових та місячних обсягів та різної конфігурації інформаційно-вимірювальних систем, виникають певні розбіжності.

Також вказаними нормативними документами передбачено можливість реалізувати обчислення природного газу в одиницях енергії за допомогою автоматичного, напівавтоматичного та ручного методу обчислення. Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки і може бути використаний як для індивідуальних вузлів обліку, так і для групи вузлів обліку в рамках об'єкту, підприємства чи напряму газової промисловості (видобування, транспортування, розподіл).

Таким чином для обчислення енергії природного газу застосовуються такі дві ІВС:

- ІВС вимірювання кількості природного газу;
- ІВС вимірювання якості природного газу.

При цьому роль ІВС якості природного газу здебільшого виконують хіміко-аналітичні лабораторії.

У разі фізичної неможливості поєднання цих систем та оперативного обчислення енергії перспективним вбачається розвиток та побудова інформаційно-вимірювальних систем обліку природного газу з застосуванням програмних комплексів як локальних, так і глобальних в рамках галузевих компаній. Це дасть змогу уніфікувати та стандартизувати процес обчислення на всіх етапах, включаючи видобуток, транспортування, зберігання та розподіл

природного газу. Також це дасть можливість забезпечити представлення теплоти згоряння в усіх місцях, де реалізується вимірювання його об'єму.

З врахуванням цього в АТ «Укргазвидобування» розроблено централізовану інформаційно-вимірювальну систему збору даних з вузлів обліку на базі програмного комплексу «Веє-UGV» (скорочено ПК «Веє-UGV»).

Система відноситься до інформаційно-вимірювальних систем нафтогазового комплексу, що є самостійним програмним продуктом, яка може застосовуватися для збирання, оброблення, зберігання та надання інформації комерційної і технологічної з вузлів обліку природного газу, нафти, газового конденсату, метанолу, етилмеркаптанів, електроенергії. Дана система дозволяє отримувати дані від потокових приладів визначення фізико-хімічних параметрів якості природного та зберігати і обробляти дані лабораторного визначення фізико-хімічних параметрів. На підставі отриманих даних про кількість та якість природного газу система забезпечує централізоване автоматичне та напівавтоматичне обчислення кількості природного газу в одиницях енергії та за змінених стандартних умов, які будуть запроваджені в Україні.

Ключові слова: природний газ, енергія, інформаційно-вимірювальна система.

Література

- [1] Закон України №1850-IX «Про внесення змін до деяких законів України щодо запровадження на ринку природного газу обліку та розрахунків за обсягом газу в одиницях енергії».
- [2] ДСТУ EN ISO 15112:2020. Газ природний. Визначення енергії.
- [3] ДСТУ EN 1776:2014. Газовимірювальні станції. Функційні вимоги.
- [4] Кодекс газотранспортної системи. Затверджено Постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг №2493 від 30.09.2015.
- [5] Кодекс газорозподільних систем. Затверджено Постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг №2494 від 30.09.2015.

УДК 537.9

ANALYSIS OF METHODS FOR MEASURING THERMAL CONDUCTIVITY PARAMETERS OF POWDERED AND PRESSED MATERIALS

Slobodian M. Y., Krynytskyi O. S., Samaniv L. V.

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

E-mail: oleksandr.krynytsky@gmail.com

Thermal conductivity of a material quantitatively determines its ability to transmit heat. This property changes depending on the temperature and composition of the material, so there is a need to measure it. It is defined as the coefficient of proportionality between the heat flow and the temperature gradient:

$$\vec{Q} = \lambda \cdot \text{grad}(T). \quad (1)$$

When heat transfer occurs in one direction, the heat conduction equation can be written in the following form:

$$Q = -\lambda \cdot \frac{dT}{dx}, \quad (2)$$

where Q heat flow in $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, λ thermal conductivity in $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, T temperature in K, x direction of heat flow propagation.

On the other hand, if the heat source is power P uniformly distributed over the surface S , we have:

$$Q = \frac{P}{S}. \quad (3)$$

Using these two ratios, we get:

$$\lambda = \left| \frac{P}{S \cdot \frac{dT}{dx}} \right|. \quad (4)$$

Three methods are most often used in industry and for thermal conductivity research: protective plate, flash method, hot wire method.

These methods are well described in the literature and in standards (ISO and ASTM).

The most commonly used method is the one-way flow method. This is possible due to placing the sample between two isothermal planes with different temperatures. The main problem with this type of measurement is heat loss. To avoid this, the measuring samples are made as thin as possible or a protective heating device is used.

Protective hot plate method: the measurement principle consists in using two identical samples that are subjected to a uniform heat flow in the measurement zone (Fig. 1). Samples, as a rule, are of a square type. Standard NF EN 12664 gives tolerances for the dimensions of the measuring device.

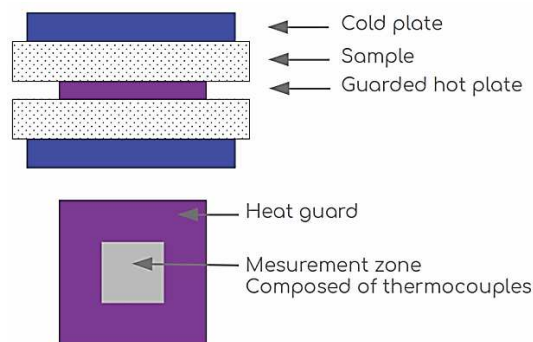


Fig. 1. Schematic diagram of the guarded hot plate method

Guarded bar method. The method is identical in principle to the protective hot plate method. It differs only in the geometric dimensions of the sample. It is suitable

for highly conductive materials such as metals. The sample is heated by a heater, its power is precisely known, so the heat flow is also known. Lateral heat exchanges are limited by the insulating material, which has the same temperature gradient. This method is used even at high temperatures. Temperature indicators are registered by sensors at different heights, which allow you to estimate the temperature gradient and determine thermal conductivity.

Flash method: This method is very useful for measuring thermal conductivity on small samples. It can be used to measure thermal conductivity at high temperatures, where temperature measurement using contact methods may be ineffective. The scheme of the experimental implementation of the device method is presented in Fig. 2. The sample is heated by a light flash, laser or ion bombardment. The temperature rise is measured on the other side of the sample using a pyrometer. Difficulties in the implementation of this method consist in correctly determining the thickness of the sample and choosing the power of the laser flash. Another difficulty lies in the implementation of the correct mathematical model for determining the thermal conductivity of the sample in the case of high-temperature heat exchange.

This method is described in the following standards NF EN ISO 22007-4, ISO 13826 [1].

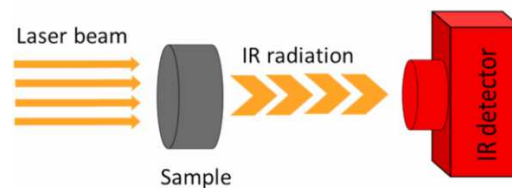


Fig. 2. Schematic diagram of the flash method

Hot-wire method: this method (Fig. 3) is mainly used to measure the thermal conductivity of liquids, high-temperature insulating materials, and bulk materials. A resistive wire is used as a heating source. Another wire (usually platinum) serves as a temperature sensor. The wire is heated using a 4-wire system, which allows the power to be monitored and its resistance measured. By registering the voltage and current applied to it, the temperature of the wire can be determined [2].

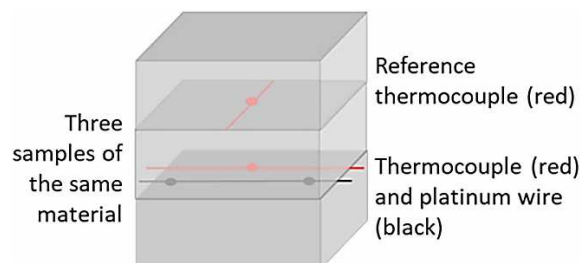


Fig. 3. Schematic diagram of the hot wire method

Measurements must be made for a short period in the liquid to avoid the effect of convection. It is also assumed that the initial temperature of the wire T and the power

source P are constant. Solving the thermal conductivity equation for these conditions allows us to obtain an analytical expression of the temperature change of the heating wire T(t) over time. If a very thin heating wire is used, its inertia has a measurable effect on the temperature curve in a very short time.

A similar method was used by NIST to measure the thermal conductivity of liquids. This method uses two wires of different lengths placed on the two arms of the Wheatstone bridge to eliminate side effects.

This method is described in the following standards NF EN 993-15, ISO 8894-2

These methods have their advantages and disadvantages, let's consider them in more detail, in particular, the hot wire method for measuring thermal conductivity has a disadvantage related to the roughness of the surface of the samples, but it will be the best for measuring the thermal conductivity of loose materials, the method with protected plates has problems with the measured values of thermal conductivity that are obtained lower than the actual values because it is impossible to prevent heat dissipation from the blocks that hold the sample. It is also impossible to make measurements for bulk materials, and for solid samples there may be a problem with the repeatability of measurement results due to possible different deformations of the samples. The flash method does not measure the thermal conductivity directly, but the thermal conductivity, nevertheless it can be calculated knowing the physical parameters of the sample, but this method is well suited for small samples with complex geometry, for which other methods are not possible.

Thus, having analyzed the method of measuring thermal conductivity, we can conclude that the hot wire method is most suitable for measuring this parameter for loose materials.

Keywords: measurement, thermal conductivity, standard, measurement methods.

References

- [1] ASTM International, *Standard Test Method for Thermal Diffusivity by the Flash Method*, E1 vols. 461–13, ASTM Int., 2013, pp. 1–11.
- [2] H.M. Roder, A transient hot-wire thermal conductivity apparatus for fluids, *Journal of research of the National Bureau of Standards*, Vol. 86, No 5, pp. 457-493 (1981).

UDC 681.121

IoT TECHNOLOGIES IN THE ENERGY CARRIERS METERING

Anna Pysarets

*National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,
Kyiv, Ukraine*

E-mail: anna.v@ukr.net

Information measuring systems are becoming widespread due to the rapid development of information technology. Such systems allow you to automate the transmission of measuring instruments readings. This, in turn, makes it possible to carry out their rapid processing and analysis, including in real time.

The transmission of measurement information is carried out using network technologies, among which the Internet of Things (IoT) is becoming increasingly popular.

IoT is a network that connects various objects with unique identifiers. Objects of such a network can interact with each other without human participation due to the presence of built-in sensors.

IoT technologies are used in various sectors of human activity: logistics, finance, security (alarm systems), retail trade, health care, industry, construction, agriculture, housing and communal services, as well as in “smart home” and “smart cities”.

A separate area of IoT using is measurement automation.

In this case, various primary transducers are used to measure and analyze environmental parameters and technological processes. We are talking about gas analyzers that detect the presence of hazardous substances (toxic, flammable, etc.); substance level transducers, the task of which is to determine the filling level of containers with liquids, powders or bulk materials; pressure and temperature transducers for monitoring parameters and identifying their sudden changes, which can cause accidents in production; primary humidity transducers, which are widely used in ventilation, air conditioning and heating systems by measuring the amount of water vapor in the atmosphere.

Improving the quality of energy resource accounting is also possible with the implementation of information and measurement systems that are based on the use of IoT.

The purpose of the information and measuring system is to collect, transmit, process and analyze readings from metering instruments.

Regardless of the technology chosen to create an information-measuring system (wired, wireless, combined systems), the measuring channel consists of a metering instrument (meter/flow meter), its readings, a data transmission medium and software that controls the operation of the entire system [1-5].

The structure of such software (software) involves several levels of users with limited access to information and is based on a database.

The database contains the following information about the end point (metering instrument): serial number, instrument type or model, instrument identifier in the organization, physical location address, geographic coordinates, etc.

The user level has certain limitations on access to information and its processing functions. Access to the software is carried out using a password.

Let's consider a possible configuration of such a system. For example, there are three levels of access: administrator, manager, and reader.

The task of a user at the “administrator” level is to create users at all other levels (“manager”, “reader”). A user of this level has unlimited access to information.

In turn, a user at the “manager” level:

- fills out the database, that is, enters information about the instruments of the information-measuring system;

- creates so-called “routes” – groups of instruments united according to a certain characteristic (belonging to a specific object or territory, for example, a street, house, neighborhood, etc.); in this case, the route can contain from several instruments to many thousands;
- creates user profiles at the “reader” level;
- distributes routes between readers.

A user at the “reader” level has access to information about instruments on the route assigned to him (location, instrument number in the system, etc.).

The success of the system is determined by the efficiency of the user, who has the “reader” level. It is such a user who, using a Smart device (smartphone, tablet computer, etc.), interrogates route instruments and transmits the received data to the server. This occurs by synchronizing at the end of the route.

The software operation algorithm consists of the following stages:

- reading of metering instruments (using a mobile application for a user at the “reader” level);
- data synchronization between the mobile application and the server;
- saving readings in the form of a table in which each instrument corresponds to one line (server software);
- exporting the received data to the user’s PC;
- data analysis and processing.

The data received from the instruments is stored in the internal server database.

Data export occurs upon request from users at the manager or administrator levels. The request contains the instrument number or its installation address, as well as the data accumulation time interval.

The data export process is performed both manually and using an automated scheduler. Data is usually exported to one of the common formats csv, xml, xls, etc.

Data analysis and processing can be performed by the user based on exported data or built-in algorithms of the server software.

Server software algorithms allow for each instrument of the system

- to evaluate the dynamics of changes in energy carrier consumption over a certain time interval (day, week, month, quarter, half-year, and so on) in the form of a bar chart;
- to receive a report on abnormal situations (presence of air in the system; exceeding the permissible flow rate; too low flow rate; problems in the electronic part of the instrument, for example, low battery);
- to determine periods of no energy carrier consumption;
- to identify periods of continuous energy consumption;
- to determine a change in flow direction (negative flow in the system);

for all instruments in the system

- to determine the average energy carrier consumption for a specified time interval;
- to determine the total energy carrier consumption for a specified time interval.

A necessary condition for automating energy carriers metering is equipping the instruments with a unified input interface, which allows them to be integrated into any system.

The characteristic features of information and measurement systems based on the use of IoT technologies are

- the ability to network metering instruments from different manufacturers to account for various energy resources;
- limitless number of connected metering nodes;
- speed and ease of network deployment;
- a significant reduction in time and financial costs at the stages of design, deployment and operation of the system.

The use of IoT has problems associated with software vulnerability, insecure communication channels, malware, just like the Internet. Therefore, when deploying such systems, special attention should be paid to the security of transmitted data.

Keywords: energy carriers; accounting; readings; information and measurement system; data transmission technologies; IoT; software.

References

- [1] А. В. Писарець, Є. В. Писарець, “Автоматизовані системи передачі показань від приладів обліку енергоносіїв. Частина 1”, *Вісник КПІ. Серія приладобудування*, Вип. 59(1), с. 95 – 101, 2020. DOI: [10.20535/1970.59\(1\).2020.210037](https://doi.org/10.20535/1970.59(1).2020.210037)
- [2] А. В. Писарець, Є. В. Писарець, “Автоматизовані системи передачі показань від приладів обліку енергоносіїв. Частина 2”, *Вісник КПІ. Серія приладобудування*, Вип. 60(2), с. 79 – 86, 2020. DOI: [10.20535/1970.60\(2\).2020.221452](https://doi.org/10.20535/1970.60(2).2020.221452)
- [3] Standardization of NB-IOT completed. [Online]. Available at: https://www.3gpp.org/news-events/1785-nb_iot_complete
- [4] LoRaWAN® Specification v1.1. [Online]. Available at: https://loralliance.org/resource_hub/lorawan-specification-v1-1/
- [5] LoRaWAN® Regional Parameters v1.1rA. [Online]. Available at: https://loralliance.org/resource_hub/lorawan-regional-parameters-v1-1ra/

УДК 355.695

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЕКОНОМІЇ ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ПІД ЧАС ТРАНСПОРТУВАННЯ У СИЛАХ ОБОРОНИ УКРАЇНИ

¹⁾Сендецький М. М., ¹⁾Сащук С. І., ¹⁾Махнюк О. В., ²⁾Комаров В. О.

¹⁾Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки
Збройних Сил України, Київ, Україна

²⁾Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ, Україна
E-mail: sendmm60@gmail.com, svyatoslavsaschuk@gmail.com, valentynovu4@ukr.net,
vladimir@komarov.in.ua

Для забезпечення виконання угрупованнями військ (сил) покладених завдань необхідно здійснювати своєчасні перевезення та транспортування ОБТ, а також матеріально-технічних засобів (МТЗ) для задоволення їх потреб у

визначених районах (зонах), поповнення витрат і втрат МТЗ. Виконання цих функцій у Збройних Силах України (ЗС України) покладено на систему транспортного забезпечення, яка є складовою частиною загальної системи логістичного забезпечення ЗС України та містить органи управління усіх рівнів військового управління. Командування Тилу безпосередньо організовує транспортне, технічне, матеріальне та інші види забезпечення в усіх видах військової діяльності з метою підтримки їхнього боєздатного стану, створення усіх необхідних умов для виконання поставлених перед ними завдань.

Існуючий на сьогодні стан ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів в Україні можна визначити як такий, що не відповідає сучасним вимогам, особливо в сучасних умовах, коли продовжується повномасштабне вторгнення російських військ на територію незалежної України. Однією з причин такого стану є втрати нафтопродуктів. Основними причинами втрат є морально та технічно застарілі технології й обладнання, що використовується для транспортування, зберігання та розподілу нафти і нафтопродуктів, а також нераціональна їх експлуатація. Випари нафтопродуктів при їх зберіганні становлять основну частку втрат. Світові статистичні дані свідчать, що втрати нафти і нафтопродуктів від випаровування при транспортуванні у різного типу ємностях коливаються у межах 0,5-1,7 % від загального обсягу перероблюваної сировини, тоді як в Україні вони значно більші і становлять 3-7 %.

Також слід відмітити, що досвід багатьох країн світу, щодо забезпечення військових потреб доводить, що матеріальне тилове забезпечення військових органів виконує важливу роль і займає центральне місце у перетворенні економічного потенціалу держави у її реальну військову міць. Удосконалення процесу тривалого зберігання нафтопродуктів – одне з найважливіших завдань, що постають перед фахівцями, що експлуатують транспорт, що перевозить нафтопродукти. Одним з найбільш важливих його аспектів є вивчення та дослідження процесу випаровування вуглеводневих рідин та розроблення/удосконалення заходів, спрямованих на його зменшення. Науково та економічно обґрунтоване використання різних методів і засобів боротьби із втратами нафти і нафтопродуктів може різко зменшити фактичні втрати від випаровування, зберегти велику кількість нафтопродуктів, захистити навколишнє середовище від шкідливого впливу вуглеводнів.

Метою роботи є розгляд методів та підходів до вирішення складної задачі прогнозування і скорочення втрат нафтопродуктів в різних за типом резервуарах, а також визначення напрямків удосконалення існуючих методик розрахунків. Досягнення цієї мети передбачає виявлення чинників, які впливають на розв'язувану в роботі наукову проблему та обґрунтувати заходи зниження втрат палива при його транспортуванні.

В цій роботі мова піде про джерела втрат нафтопродуктів при їх транспортуванні залізничним, автомобільним, трубопровідним і водним транспортом. Цими джерелами є випаровування при зливо-наливних операціях,

течі через ущільненості зливного обладнання, переливи при заповненні цистерни, виплескування із цистерн під час рушання з місця і зупинення, здійснення не повного зливу з цистерн і т.п.

Втрати нафтопродуктів при транспортуванні залізничним транспортом.

Втрати спостерігаються при перевезеннях світлих нафтопродуктів в негерметизованих цистернах. Основний вплив на величину втрат здійснює марка і температура нафтопродукту. При наливі залізничної цистерни місткістю 50 м³, втрати на 1 м³ наповнюємого автомобільного бензину при його температурі +5 °С складає 0,19 кг, а при +23 °С – 0,5 кг, отже в 2,5 рази вище. Цистерни місткістю 50 т треба наповнювати нафтопродуктом до половини висоти заливної горловини, а в літню пору року автомобільний бензин наповнюється до нижнього краю заливної горловини цистерни.

Втрати нафтопродуктів в залізничних цистернах визначаються за залежністю:

$$X = 0,01 PE,$$

де P – кількість нафтопродукту, що перевозиться, кг;

E – норма втрат при перевезеннях нафтопродуктів наливом, %.

Показники норм втрат для проведення розрахунків на всі періоди року при залізничних перевезеннях і автомобільних перевезеннях різні.

На сьогоднішній день найбільш економічним варіантом є нижній налив і злив нафтопродуктів із залізничної цистерни. При нижньому зливі зменшуються втрати від випаровування, скорочується час зливу, поліпшуються умови роботи обслуговуючого персоналу.

Втрати нафтопродуктів при автомобільних перевезеннях.

Втрати нафтопродуктів при перевезеннях автотранспортом, як правило, перебільшують втрати при інших видах перевезень. Величина втрат залежить від фізико-хімічних властивостей самих нафтопродуктів, технічного стану автомобільних засобів підвозу, пори року. Головним чином кількість втрат нафтопродуктів залежить від герметизації наливних горловин. Наповнення цистерни паливом слід проводити при низьких температурах, в безвітряному місці та, бажано, в мінімальні терміни. При верхньому наповненні рукав, через який здійснюється наповнення, має бути опущений до нижньої частини ємності (цистерни). Досліджено, що при наповненні цистерни паливом втрати від випаровування становлять біля 150-160 г/м³ автомобільного бензину. При варіанті, коли рукав не був занурений до дна цистерни на 1,6 м, втрати становили близько 900 г/м³. Втрати автомобільного бензину при наповненні відкритим струменем зі збільшенням швидкості наповнення збільшуються, а при наповненні закритим струменем – зменшуються. Значний ефект щодо зменшення втрат палива можна отримати завдяки відводу пароповітряної суміші із цистерн на гасоулавлююче обладнання. Це дозволить скоротити втрати від випаровування при наповненні в транспортні цистерни на 85-90 %. Також зменшення втрат пального досягається завдяки застосуванню нижнього наповнення автомобільної цистерни з відводом пароповітряної суміші в

гасовирівнюючу систему пункту наповнення. При наповненні цистерни треба враховувати можливість розширення нафтопродуктів при їх нагріванні. Важливим чинником є відпотини на цистернах, а також на гумотканевих резервуарах. Спостереження свідчать, що під час транспортування автомобільного палива на відстань 200 км в герметичних 200-літрових ємностях, втрати склали в 9 раз більше при наявності однієї відпотини. Проведений аналіз втрат палива надає змогу зробити висновок, що при транспортуванні світлих нафтопродуктів в автоцистернах втрати, внаслідок неправильного їх зливу, можуть досягати 1-1,5 %.

При зливі пального із автоцистерн в заглиблені резервуари самотечєю можливе його виплескування внаслідок невідповідності діаметру зливного рукаву і патрубку, що приймає паливо, або відсутність між ними герметичного з'єднання. Втрати із-за неповного зливу збільшуються з підвищенням його густини.

При перевезенні пального на значні відстані, особливо у теплу пору року, слід звертати особливу увагу на заповнення автоцистерн і ємностей (бочок). Рекомендується автоцистерни наповнювати не вище показника рівня, розташованого в наливній горловині, а ємність (бочку) не доливати на 5-7 см.

Втрати пального на трубопроводному транспорті.

Втрати на трубопроводному транспорті складаються з втрат пального в резервуарах, насосному обладнанні та у трубопроводній системі в результаті випаровування. Втрати за характером слід розподілити на експлуатаційні (недосконалість технічного обладнання трубопроводних комунікацій резервуарів, насосних станцій), що призводить до випаровування і підтікання просочення нафтопродуктів, і аварійні втрати, пов'язані з відсутністю захисту трубопроводів від корозії, несвоєчасним ремонтом, аварій тощо.

Для недопущення проливів пального і погіршення його якості по закінченні перекачування, гумотканевий трубопровід повністю спорожнюється від пального. Треба звертати увагу на те, що (в разі необхідності) пальне може знаходитися в трубопроводі не більше доби. Система транспортування і зберігання безтарного пального дозволяє задовольняти потреби військ (сил) у паливно-мастильних матеріалах (ПММ) через безпечну і екологічно нешкідливу підземну трубопроводну мережу великої протяжності, здатну забезпечити пікові і регулярні потреби у пальному, необхідному для проведення операцій.

Втрати під час водних перевезень.

Втрати нафтопродуктів на водному транспорті виникають в результаті випаровування при перевезеннях і зливо-наповнювальних операціях, підтікання і переливів, змішування нафтопродуктів у відсіках наповнювальних суден, аварій, а також скидання за борт трюмно-баластних вод із залишками нафтопродуктів, неповного зливу танкерів і барж. Наприклад, норми природної втрати нафтопродуктів, залежності від кліматичних зон (північна, середня, південна) та осінньо-зимового, весняно-літнього періоду, різні. При вказаному

виді транспортування втрати від випаровування залежать від герметичності корпусу нафтоналивних суден, справності комунікацій запірної апаратури, ступеня нагріву корпусу та палуби. Особливо значні втрати відбуваються під час перевезення автомобільних бензинів. Слід зауважити, що в жарку пору року підвищенні втрати на нафтоналивних судах спостерігається із-за нагрівання палуби, коли не встановлено екранування.

Можливість забезпечувати сили оборони ПММ залежить від наявності та розгортання паливозаправної техніки і обладнання, а також стаціонарних об'єктів, що здійснюють подачу пального. Ці об'єкти використовуються для транспортування і зберігання ПММ. Зберігання нафтопродуктів відбувається в укріплених резервуарах, обладнаних пристроями захисту. Такі важливі і унікальні характеристики системи забезпечують енергетичну безпеку і надійність поставок ПММ.

Наведені питання мають на меті продемонструвати, яким чином можливо звести до мінімуму втрати пального під час зливо-наливних операцій, задовольнити ці потреби і як провести відповідну раціоналізацію стаціонарних об'єктів системи транспортування і зберігання ПММ, що особливо важливо у період військового стану.

Ключові слова: сили оборони, транспортування пально-мастильних матеріалів, втрати нафтопродуктів.

УДК 681.121

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ВИТРАТИ

Драчук О. О., Писарець А. В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: lesyaartemenko@gmail.com, anna.v@ukr.net

При обліку витрат енергоносіїв широкого застосування набули прилади, що базуються на ультразвуковому методі вимірювання. При цьому найбільш поширеними є одноканальні ультразвукові вимірювачі витрати, де промінь може бути спрямованим під кутом до потоку або вздовж вісі вимірюваного потоку. Для здійснення точних вимірювань у такому разі потрібно забезпечити рівномірний симетричний профіль швидкості вимірюваного потоку, що дуже складно здійснити за реальних умов застосування. Зменшити вплив асиметрії потоку на результат вимірювань можна застосуванням багатоканальних перетворювачів витрати, яким притаманні похибки, спричинені додатковим спотворенням профілю швидкості.

Вирішити цю проблему можна застосуванням схем, що базуються на властивостях відбитої хвилі.

Перевагами таких приладів є високі точність вимірювання та мінімальні втрати тиску у діапазоні вимірюваних витрат, відсутність необхідності у протяжних прямих ділянках трубопроводу до і після місця встановлення приладу, менша чутливість до невеликих випадкових пульсацій та нерівності поля швидкостей потоку [1-3].

Порівняно з багатохордовими витратоміри з відбиттям мають меншу кількість п'єзоелектричних перетворювачів, монтаж яких створює додаткову деформацію поля швидкостей на вимірювальній ділянці.

Метою роботи є порівняння гідравлічних явищ, що відбуваються у багатохордовому ультразвуковому перетворювачі витрати та перетворювачі з відбиттям хвилі, де траєкторії вимірювального променя збігаються за характерними параметрами розміщення вимірювальних шляхів.

Дослідження гідравлічних явищ, що відбуваються у перетворювачі витрати, проведено із застосуванням сучасних обчислювальних програмних комплексів, що реалізують метод кінцевих елементів за стандартними алгоритмами:

- створення тривимірної геометричної моделі досліджуваного об'єкту;
- накладання сітки на геометричну модель;
- завдання зон входу і виходу вимірюваного середовища;
- вибір вимірюваного середовища, що передбачає опис його фізичних властивостей;
- вибір гідродинамічної моделі потоку;
- завдання граничних умов на вході;
- ініціалізація обчислювального процесу;
- моделювання;
- оцінка отриманих результатів.

Для досягнення мети створено тривимірні моделі перетворювачів витрати номінального діаметра $DN=50$ мм двох конструкцій [4, 5]:

- однопроменевого з чотирикратним відбиттям інформативного променя, що в поперечному перерізі створює трикутну форму зондування вимірюваного середовища (рис. 1, а);
- багатопроменевого з використанням окремих п'єзоелектричних перетворювачів, розміщення яких відповідає розміщенню відбивачів іншої конструкції (рис.1, б).

В обох схемах реалізовано вимірювання витрати за трьома променями, що розміщені під однаковими кутами нахилу та діаметральній відстані до вимірюваного потоку.

Для дослідження обрано вимірюване середовище – газ метан за наступних робочих умов: атмосферний тиск $0,3$ МПа та температура 20 °С.

Моделювання проводилось для п'яти режимів роботи, де в якості граничних умов задано ряд швидкостей потоку на вході, що відповідають мінімальній, номінальній та максимальній витратам, а також додатково $0,2Q_{\max}$, $0,7Q_{\max}$ ультразвукового витратоміра.

Моделювання проводилось за стаціонарного режиму течії (режим Steady State), розвиненого потоку.

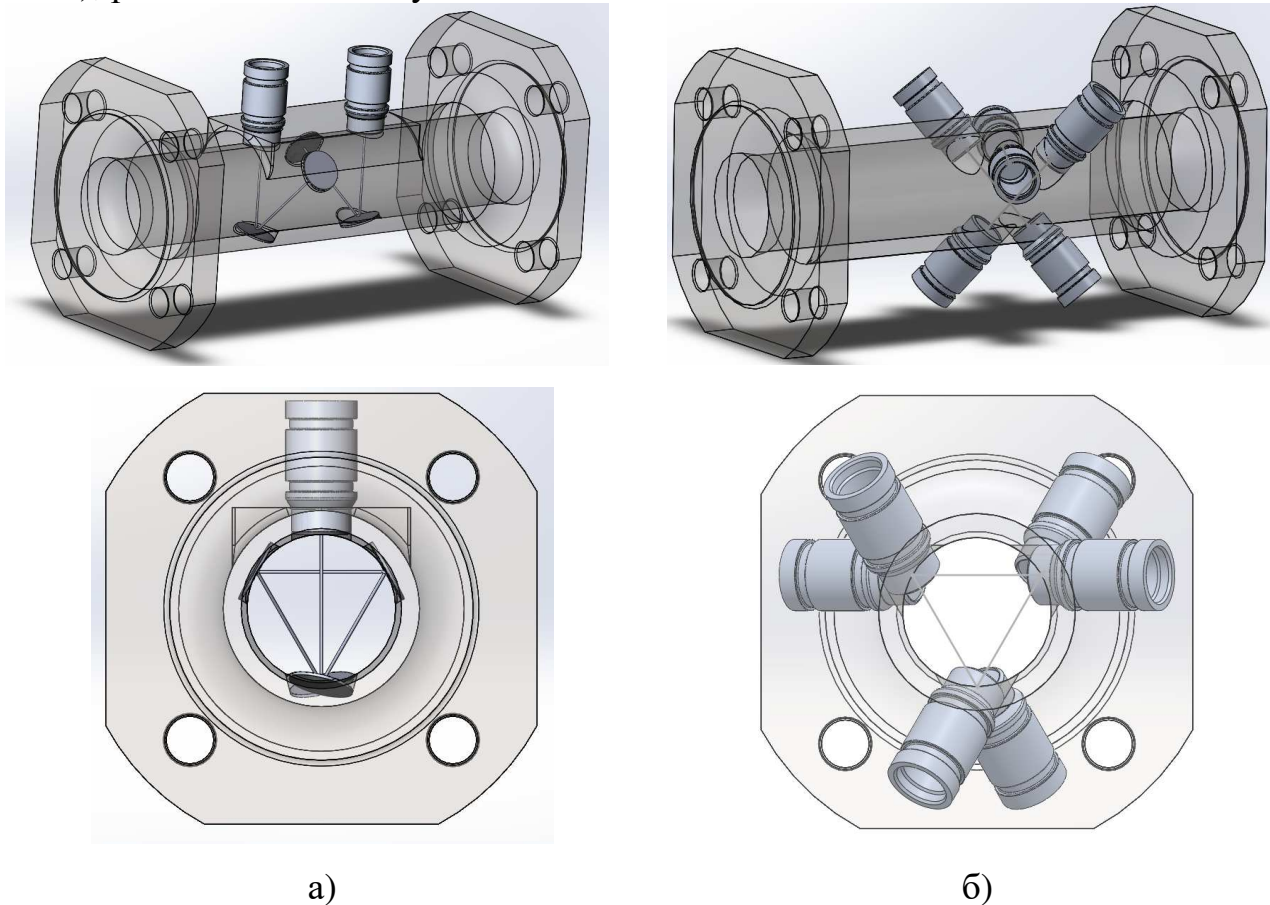


Рис. 1. Тривимірні моделі ультразвукових перетворювачів витрати:
а – з відбиттям вимірювального променя; б – багатохордовий

Для опису турбулентного процесу, що є складним рухом, який описується незамкненою системою рівнянь Нав'є-Стокса, використовуються різні напівемпіричні методи розрахунку, пов'язані з тим чи іншим способом замикання усереднених за Рейнольдсом рівнянь.

Застосовано модель турбулентності К-epsilon ($k-\epsilon$), що є однією з найбільш поширених у використанні завдяки високій стійкості та збіжності розрахунку при використанні побудованої досить грубої сітки поблизу стінок моделі. Це двопараметрична розрахункова модель турбулентності, де перша компонентна змінна визначає турбулентну кінетичну енергію (k), друга складова є турбулентною дисипацією/швидкістю розсіювання турбулентної кінетичної енергії (ϵ).

За результатами імітаційного моделювання отримано

- картини розподілу швидкостей та тисків у перерізах вимірювального каналу;
- числові значення швидкостей вздовж вимірювальних променів;
- втрати тиску на вимірювальних перетворювачах;

підтверджено, що у випадку багатохордового виконання перетворювача витрати відбувається додаткова деформація поля швидкостей на вимірювальній ділянці.

У доповіді наведено порівняльний аналіз результатів імітаційного моделювання двох досліджуваних конструкцій ультразвукових перетворювачів витрати.

Ключові слова: витрата; перетворювач витрати; ультразвуковий метод вимірювання; відбиття променя, імітаційне моделювання потоків, облік газу.

Література

- [1] А. В. Писарець, О. О. Драчук, “Особливості роботи ультразвукового перетворювача витрати зі складною траєкторією вимірювального променя”, *Вісник КПІ. Серія приладобудування*, Вип. 63(1), с.63-68, 2022. DOI: [10.20535/1970.63\(1\).2022.260645](https://doi.org/10.20535/1970.63(1).2022.260645)
- [2] О. О. Драчук, “Застосування віртуального та математичного моделювання при дослідженні вимірювальних перетворювачів витрати газозфазних середовищ”, на *XX Міжнар. наук.-техн. конф. ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи*, Київ, 2021 с. 187-189. https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/42811/1/PSP-XX_2021_p187-189.pdf
- [3] Й. Й. Білинський, М. О. Стасюк, М. В. Гладішевський, “Аналіз методів і засобів контролю витрат рідких і газоподібних середовищ та їхня класифікація”, *Автоматика та інформаційно-вимірювальна техніка. Наукові праці ВНТУ*, № 1, с. 1-11, 2015.
- [4] ISO 17089-1:2019. Measurement of fluid flow in closed conduits. – Ultrasonic meters for gas – Part 1: Meters for custody transfer and allocation measurement.
- [5] ISO 17089-2:2012. Measurement of fluid flow in closed conduits. – Ultrasonic meters for gas – Part 2: Meters for industrial applications.
- [6] F. R. Menter, R. Langtry, S. Völker, “Transition Modelling for General Purpose CFD Codes”, *Flow Turbulence Combust*, vol. 77, pp. 277–303, 2006. DOI: 10.1007/s10494-006-9047-1