

УДК 681.121

Коробко І.В., д.т.н., проф.; Могирьов Я.І.; Кротеви́ч В.В.
НТУУ «Київський політехнічний інститут» м. Київ, Україна

ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС РОЗРАХУНКІВ І ДОСЛІДЖЕННЯ ТУРБІННИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ВИТРАТИ РІДИНИ ТА ГАЗУ

Korobko I., Mogylov Ya., Krotevich V.

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine (i.korobko@kpi.ua)

PROGRAM COMPLEX OF CALCULATIONS AND RESEARCH OF TURBINE FLOWMETERS OF GAS AND LIQUID FLOW RATE

Стаття направлена на вирішення задачі створення ефективних систем вимірювання об'єму та об'ємної витрати рідини та газу задля побудови дієвої системи енергозбереження шляхом організації ефективних реєстрації та обліку паливно-енергетичних ресурсів і води. Правильність вибраних принципів побудови вимірювальних перетворювачів витрати і основних технічних рішень, прийнятих при цьому, запропоновано оцінювати не шляхом проведення великої кількості затратних експериментально-випробувальних робіт на макетах та лабораторних зразках, а здійсненням математичного та віртуального моделювань з використанням сучасних інформаційних технологій. У роботі розглядаються питання побудови програмного комплексу розрахунків та дослідження широко застосованих швидкісних перетворювачів витрати рідин і газу з турбінним чутливим елементом. Програмний комплекс забезпечує ефективне оцінювання правильності вибору значень параметрів конструкції приладів при їх проектуванні та подальших дослідженнях. Для проведення комплексних досліджень вимірювальних перетворювачів витрати розроблено спеціальне програмне забезпечення, що дозволяє проведення математичного моделювання приладів. Особлива увага приділена дослідженню впливу гідродинамічних показників потоку на метрологічні характеристики приладу, оцінці статичної та динамічної характеристик і похибок вимірювання.

Ключові слова: витрата, вимірювання витрати, турбінні вимірювальні перетворювачі, моделювання.

Вступ. Постановка проблеми

На сьогоднішній день актуальною є проблема високоточних вимірювань витрати та кількості рідинних і газоподібних енергетичних ресурсів, включаючи всі її аспекти від розроблення та метрологічних досліджень засобів вимірювання і до побудови вузлів обліку у конкретних умовах експлуатації.

Інженерна практика вимагає значного підвищення точності визначення об'єму та об'ємної витрати газу, що окреслює вимоги до метрологічних характеристик вимірювальних приладів як складових вузлів обліку. Для створення ефективного вузла обліку вимірювання необхідно визначити основні чинники впливу на точність приладу і методологію їх компенсації та окреслення раціонального місця монтажу на технологічній мережі [1-5].

Для визначення кількісних показників потоків рідин і газу широкого застосування набули турбінні вимірювальні перетворювачі витрати (ТВПВ), завдяки їх перевагам перед існуючими приладами інших класів аналогічного призначення [1,6].

Поєднання високої точності і надійності із простотою та дешевизною конструкції дозволяють ефективно застосовувати прилади, побудовані на ТВПВ у житлово-комунальній, нафтохімічній, паливній, енергетичній та в інших галузях промисловості.

Постановка задачі

Розв'язання задач створення сучасних ТВПВ можливо шляхом проведення великої кількості натурних та напівнатурних досліджень. У той же час, сучасний розвиток інформаційних технологій дозволяє з високою ефективністю досліджувати прилади за допомогою системи CAD/CAE. Одна з таких систем побудована на підрунті методів обчислювальної гідрогазодинаміки і реалізована програмним комплексом ANSYS CFX, за допомогою якого з високою ймовірністю визначаються проекції векторів швидкостей у дискретних точках потоків, як за поперечним перерізом, так і по їх протяжності [7-9]. Використання методів обчислювальної гідрогазодинаміки сприяє розв'язанню проблем побудови ефективних вимірювальних приладів і систем шляхом чисельного моделювання фізичних процесів взаємодії плинних потоків газу із елементами їх конструкції, що базуються на основних законах гідрогазодинаміки.

Для практичної реалізації поставленої задачі доцільним є створення програмного забезпечення (ПЗ), що спроможне досліджувати метрологічні характеристики приладів і вказувати шляхи їх покращення.

Оскільки метою створення програмного забезпечення є автоматизація процесу дослідження і удосконалення експлуатаційних параметрів перетворювачів витрати рідин та газів, то доцільно окреслити дві основні задачі, які виконувати даний програмний продукт: дослідження і оптимізація приладів за різних режимів експлуатації і умов застосування.

Турбінні вимірювальні перетворювачі витрати

Вихідною вимірювальною інформацією ТВПВ аксіального типу є частота обертання чутливого елемента (ЧЕ), який являє собою гвинтоподібну турбінку.

Основною аналітичною залежністю, що описує роботу ТВПВ, є диференціальне рівняння обертального руху ЧЕ, яке пов'язує вихідну величину з об'ємною витратою рідини:

$$2\pi J \frac{dn}{dt} = M_p - \sum M_O, \quad (1)$$

де n – частота обертання ЧЕ; J – момент інерції ЧЕ; M_p – рушійний момент від потоку вимірюваного середовища; $\sum M_O$ – сума моментів опору обертанню ЧЕ.

Для ТВПВ сума моментів опору обертанню ЧЕ має вид [6, 10]

$$\sum M_O = M_{BT} + M_{II} + M_{BII}, \quad (2)$$

де M_{BT} – момент сил в'язкого тертя між турбінкою та потоком вимірюваного середовища; M_{II} – момент сил тертя в опорах турбінки; M_{BII} – момент реакції вторинного перетворювача.

При взаємодії потоку рідини з ЧЕ перетворювача виникає опір обертанню останнього, обумовлений тертям (крім підшипникових опор) рідини о тіло турбінки. Опір обертанню турбінки складається з тертя рідини о дискову та циліндричну частини втулки турбінки та тертя рідини о лопаті турбінки в радіальному зазорі. Тому момент в'язкого тертя між турбінкою та потоком можна поділити на декілька складових: моменти сил в'язкого тертя рідини о поверхню елементів обертання турбінки (момент тертя о дискову частину турбінки (M_D), момент тертя о циліндричну частину турбінки (M_{II})); моменти опору, що виникають в радіальному зазорі між турбінкою та внутрішньою поверхнею корпусу витратоміра (M_3); моменти сил в'язкого тертя рідини о поверхню лопатей в міжлопатеких каналах турбінки ($M_{Ж}$) [10, 12]:

$$M_{BT} = M_D + M_{II} + M_3 + M_{Ж}. \quad (3)$$

Отже з урахуванням (2) та (3), рівняння обертального руху ЧЕ (1) набуває виду:

$$2\pi J \frac{dn}{dt} = M_p - M_D - M_{II} - M_3 - M_{Ж} - M_{II} - M_{BII}. \quad (4)$$

Визначивши складові елементи виразу (4) з урахуванням дії на ЧЕ розвинутого турбулентного режиму течії вимірюваного середовища даний вираз набуває виду [6]:

$$\begin{aligned} & 2\pi \left(\frac{1}{2} \pi \rho_T r_{BT}^4 s + z \rho_T (r_H - r_{BT}) h l_n \left(\frac{r_H + r_{BT}}{2} \right)^2 + z \left(\frac{1}{12} \left[(r_H - r_{BT})^2 + l_n^2 \right] \sin^2 \beta + \right. \right. \\ & \left. \left. + (h^2 + (r_H - r_{BT})^2) \cos^2 \beta \right) \rho_T (r_H - r_{BT}) h l_n + z \left(\mu_z \rho_{II} \frac{l_n h^4}{48} + \left(\frac{r_H + r_{BT}}{2} \right)^2 \rho_{II} (r_H - r_{BT}) h l_n \right) \right) \frac{dn}{dt} = \\ & = a \int_{r_{BT}}^{r_m} \left[v_{CP} k \left[1 - \left(\frac{r_m - r}{r_m - r_{BT}} \right)^m \right] k_1 \operatorname{tg} \beta - 2\pi n r \right]^2 dr - 15,2394 \int_0^{r_{BT}} (\rho_{II} v^{0,5}) r^3 n^{1,5} dr - \\ & - a \int_{r_m}^{r_H} \left[v_{CP} k \left[1 - \left(\frac{r - r_m}{r_K - r_m} \right)^m \right] k_1 \operatorname{tg} \beta - 2\pi n r \right]^2 dr - \int_0^{2\pi} \int_0^s \frac{v_{CP}^2 \lambda \rho_{II} r_{BT}^2}{8} d\psi dl - \frac{4\pi \mu s h z r_H r_K^2}{\sin \beta_n V_0 (r_K^2 - r_H^2)} Q - \\ & - C_x \rho_{II} v_{CP}^2 l_{II} (r_H - r_{BT}) r_{CP} z \cos \beta - \frac{4}{\pi} \mu_{TP} F_r \frac{d}{2} + \sqrt{\left(0,1651875 \pi \mu_{TP} F_a \sqrt{F_a \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right) R} \right)^2 + \left(\frac{4}{\pi} \mu_{TP} F_r \frac{d}{2} \right)^2}, \quad (5) \end{aligned}$$

де ρ_T – густина матеріалу турбінки; ρ_{II} – густина вимірюваного середовища; Z – кількість лопатей; $\beta_{вих}$ – кут між абсолютною та відносною швидкостями. λ – коефіцієнт гідравлічного тертя. β_n – кут встановлення лопатей на зовнішньому радіусі турбінки; μ_{TP} – коефіцієнт тертя матеріалів опори; μ_z – коефіцієнт приєднаної маси прямокутного перерізу; ζ – поправочний коефіцієнт; h – товщина лопаті; l_n – довжина лопаті вздовж вісі обертання турбінки. r_H – радіус зовнішньої поверхні лопатей; r_{BT} – радіус поверхні втулки; β – кут встановлення лопатей на середньому радіусі; s – осьова довжина профілю лопаті; v_{CP} – середня швидкість

поток; m – показник ступеня розподілу швидкості потоку; k – коефіцієнт нерівномірності розподілу швидкості течії за живим перерізом; k_1 – коефіцієнт неспівпадіння напрямку вектору швидкості потоку за відносного руху з нахилом лопаті до вісі ЧЕ; r – радіус прикладання сили; ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості; r_m – радіус, відповідний максимальному значенню швидкостей; ψ – кут інтегрування при визначенні дотичного напруження; μ – коефіцієнт динамічної в'язкості; r_k – радіус внутрішньої поверхні вимірювальної камери; β_n – кут встановлення лопатей на зовнішньому радіусі турбіни; V_0 – об'єм міжлопатного простору на довжині, що дорівнює гвинтовому кроку; Q – витрата вимірювального середовища; C_x – коефіцієнт лобового опору; μ_{TP} – коефіцієнт тертя ковзання; F_r – радіальне зусилля; d – діаметр опори F_a – осьове зусилля; R – радіус опори (сферичної п'яти); E_1 – модуль пружності матеріалу цапфи; E_2 – модуль пружності матеріалу

$$\text{підп'ятника; } r_m = \sqrt{\frac{r_{BT}^2 - r_k^2}{2 \ln \left(\frac{r_{BT}}{r_k} \right)}}; a = \frac{\rho_{II} r_m l_{II}}{2} z.$$

Наведена теоретична модель (5) дозволяє: виявити параметри конструкції елементів приладу, які впливають на його роботу; визначити вплив гідродинамічної картини течії вимірюваного середовища та його фізичних властивостей на паспортні характеристики перетворювача; провести оптимізацію параметрів ЧЕ та побудувати систему синтезу ТВПВ з досконалими метрологічними характеристиками.

Програмний комплекс

Для розв'язання задачі створення сучасних ТВПВ розроблено програмний комплекс визначення раціональних, за визначеними критеріями якості, параметрів конструкції приладів та їх геометричної форми. При побудові програмного комплексу використовуються два напрями комп'ютерного моделювання, що доповнюють один одного:

а) створення комп'ютерних обчислювальних комплексів, що досліджують роботу ТВПВ за розробленими математичними описами взаємодії вимірюваного середовища і елементів конструкції засобу вимірювання;

б) застосування методів обчислювальної гідрогазодинаміки (CFD-технології), що дозволяє уточнити особливості роботи перетворювача за різних режимів роботи і в окремих локальних точках. CFD-технології дозволяють отримати картину тиску, а також величину і напрями швидкості у будь-якій точці вимірювальної камери.

Обчислювальний комплекс розрахунків, оптимізації та дослідження засобів вимірювання турбінного класу побудований із використанням таких програмних технологій: NET Framework (значною перевагою .NET є технологія Windows Forms, що надає широкий інструментарій для створення інтерфейсу користувача), Visual Studio (дозволяє створювати як консольні програми, так і програми з графічним інтерфейсом, у тому числі з підтримкою технології Windows Forms), C# (C Sharp) – об'єктно-орієнтована мова програмування розроблена для платформи .NET.

Опис програмного комплексу

Програмний комплекс TFMLAB (Turbine Flow Meter Laboratory) із використанням інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу, який є зручним і не викликає ускладнень при навчанні роботи з програмою. Додаток TFMLAB має два основних режими роботи з абсолютно різними формами: дослідження та оптимізація (рис. 1)

Після запуску додатку на екрані з'являється головна форма, в якій безпосередньо виконується вибір режиму подальшої роботи програмного забезпечення. З вікна дослідження можна відкрити паралельно вікно введення додаткових параметрів (параметрів конструкції перетворювачів) для дослідження впливу їх варіацій на метрологічні характеристики приладів. При спробах запустити виконання функції без повного чи некоректного введення вихідних даних з'являється вікно із повідомленням про помилку та інформація про необхідність введення даних.

Всі розрахунки здійснюються у Міжнародній системі одиниць СІ, але передбачена можливість введення даних в інших одиницях вимірювання.

Також у вікнах використовується багато інформативних полів класу Label. Вони динамічно змінюються з кожною дією користувача демонструючи повну інтерактивність інтерфейсу.

Для коректної роботи розробленого ПЗ до складу технічних засобів повинні входити:

а) комп'ютер з такою конфігурацією:

- 64-розрядний процесор з тактовою частотою не нижче 1 ГГц;
- достатній об'єм оперативної пам'яті (не менше 2 ГБ);
- підтримка графічного пристрою Microsoft DirectX 9;
- інші складові можуть мати будь-які параметри, тому що вони не значним чином впливають на роботу програми;

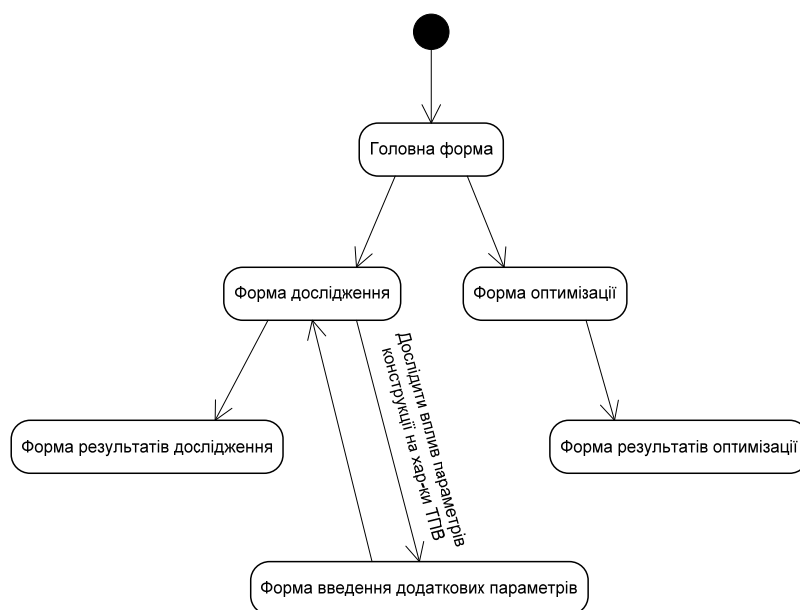


Рис. 1. Діаграма ієрархії форм

б) додатково має бути встановлене таке програмне забезпечення:

- операційна система Windows 8.1 / Windows 8 / Windows 7;
- .NET Framework версії не нижче 4.5.

Робота з програмним комплексом розпочинається із головної форми, в якій пропонується вибрати режим роботи оптимізація.

Дослідження турбінних вимірювальних перетворювачів витрати

При обранні режиму роботи “Дослідження” відкриється нове вікно, де вводяться усі необхідні для розрахунків і вивчення параметри перетворювача та характеристики потоку вимірюваного середовища (рис.2)

Серед наявних профілів швидкості потоку можна обрати вид потоку (ламінарний чи турбулентний) або файлом профілю, що завантажується користувачем. У запропонованому ПЗ реалізована можливість завантаження епюри розподілу локальних швидкостей потоку по поперечному перетину експортованого з програмного комплексу ANSYS CFX.

При неповному або некоректному введенні даних на екрані з’явиться відповідне повідомлення, а некоректні значення підсвічуються червоним кольором (рис.3, рис.4).

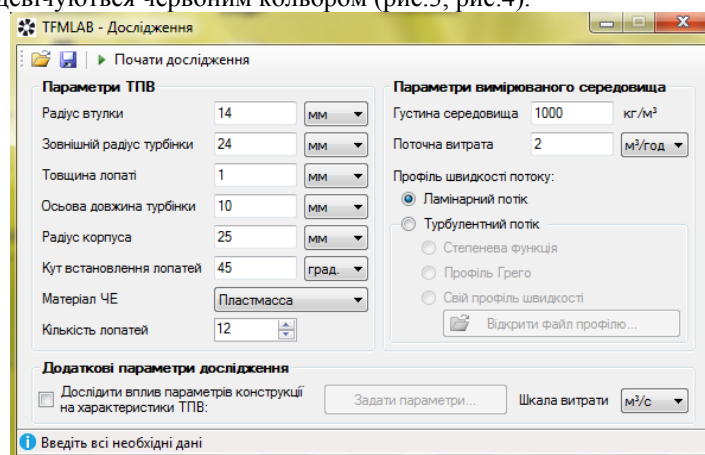


Рис. 2. Режим дослідження

Після введення усіх необхідних параметрів, користувач тисне на кнопку “Прийняти” і всі введені значення передаються до форми досліджень. Після введення основних і додаткових параметрів натисненням кнопки “Почати дослідження” запускається процес розрахунку і відкривається діалогове вікно, яке містить декілька вкладинок для відображення отриманих результатів, в тому числі і у графічній формі.

Розроблене ПЗ було протестовано при дослідженнях швидкісного лічильника рідини турбінного класу із параметрами конструктивних елементів та величинами їх варіації (табл.1).

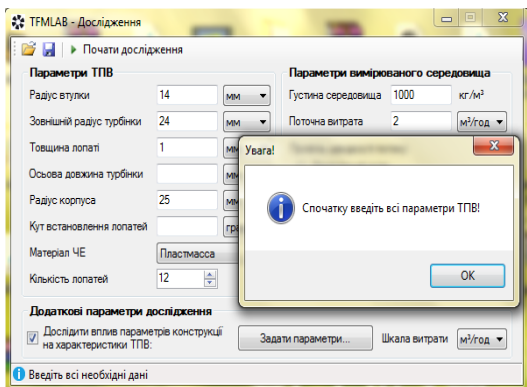


Рис. 3. Спроба відкрити вікно вводу додаткових параметрів дослідження без введення всіх параметрів конструкції конкретного ТПВВ

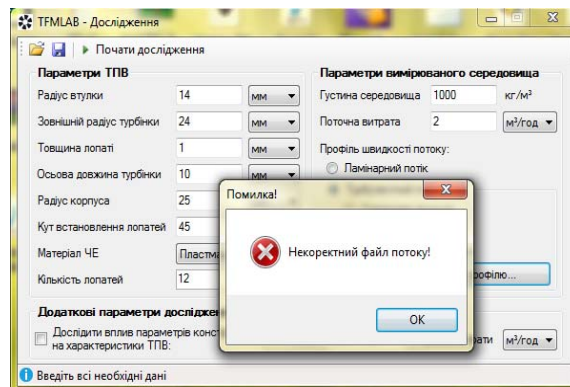


Рис. 4. Некоректний файл потоку

Таблиця 1

Значення параметрів елементів конструкції турбінного лічильника

№ п.п.	Параметр елемента конструкції	Значення
1.	Радіус маточини (втулки)	$(12-16) \cdot 10^{-3}$ м
2.	Зовнішній радіус турбінки	$(24-26) \cdot 10^{-3}$ м
3.	Товщина лопаті турбінки	$(0,5-2) \cdot 10^{-3}$ м
4.	Вісьова довжина турбінки	$(8,5-14,5) \cdot 10^{-3}$ м
5.	Внутрішній радіус вимірювальної камери	$(25-27) \cdot 10^{-3}$ м
6.	Кут встановлення лопатей	$(\pi / 6 - \pi / 4)$ рад
7.	Кількість лопатей	7-27
8.	Матеріал турбінки	пластмаса
9.	Густина вимірюваного середовища	$1000 \text{ кг} / \text{м}^3$

Результати досліджень ТПВВ наведені на рис. 5-рис.18.

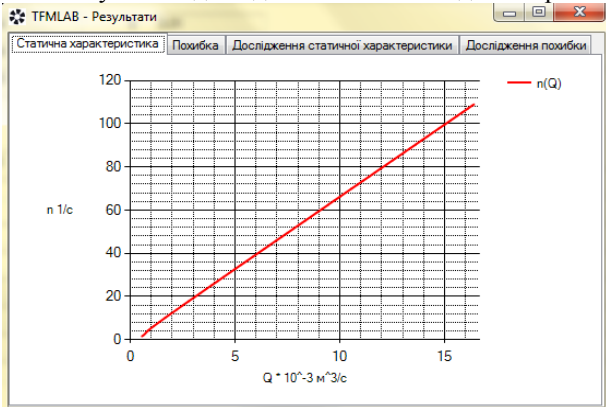


Рис. 5. Статична характеристика ТПВВ

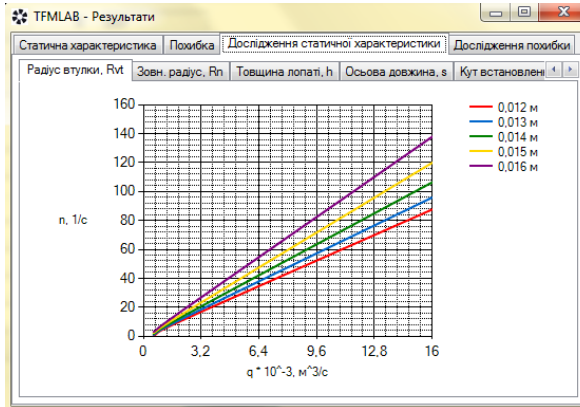


Рис. 6. Вплив зміни радіуса втулки на статичну характеристику ТПВВ

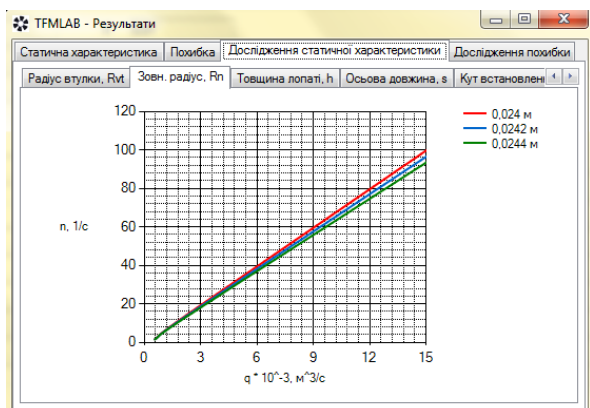


Рис. 7. Вплив зміни зовнішнього радіуса турбінки на статичну характеристику ТПВВ

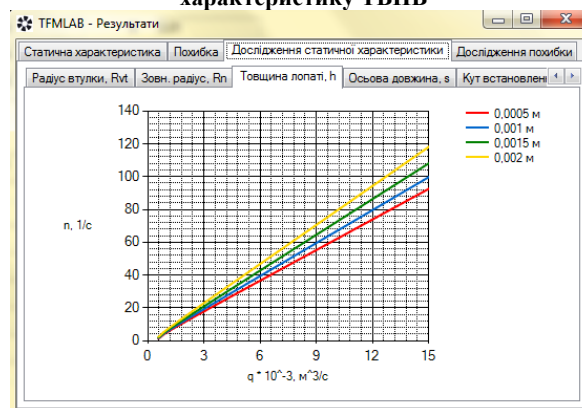


Рис. 8. Вплив зміни товщини лопаті на статичну характеристику ТПВВ

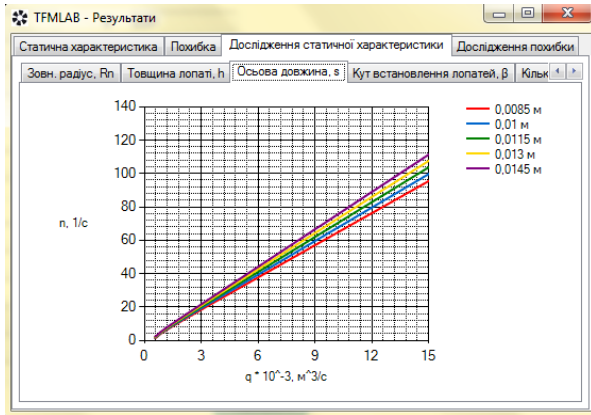


Рис. 9. Вплив зміни осьової довжини турбінки на статичну характеристику ТВПВ

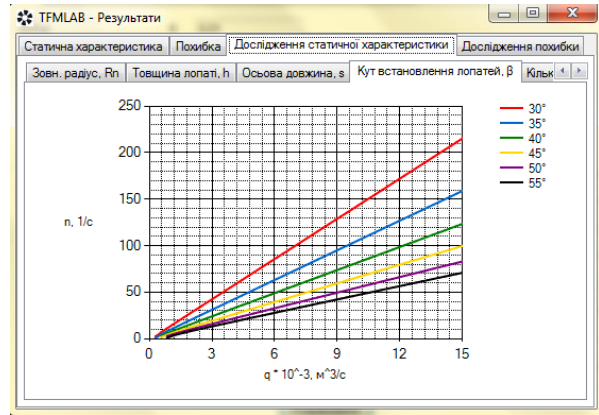


Рис. 10. Вплив зміни кута встановлення лопатей на статичну характеристику ТВПВ

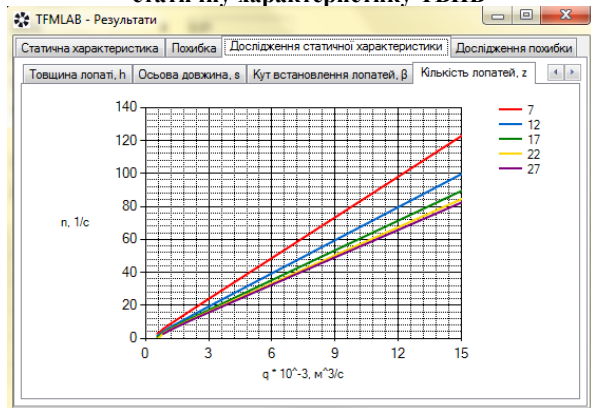


Рис. 11. Вплив зміни кількості лопатей на статичну характеристику ТВПВ

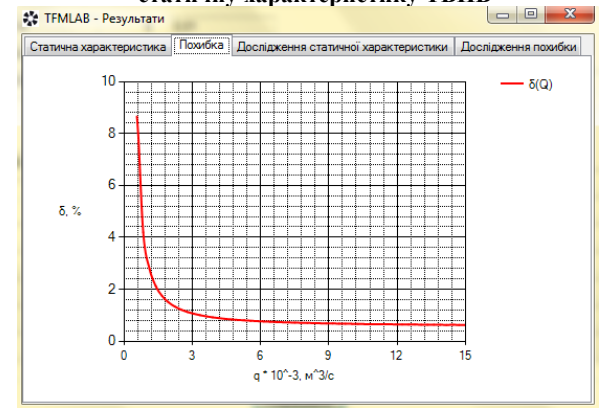


Рис. 12. Відносна похибка вимірювання конкретного ТВПВ

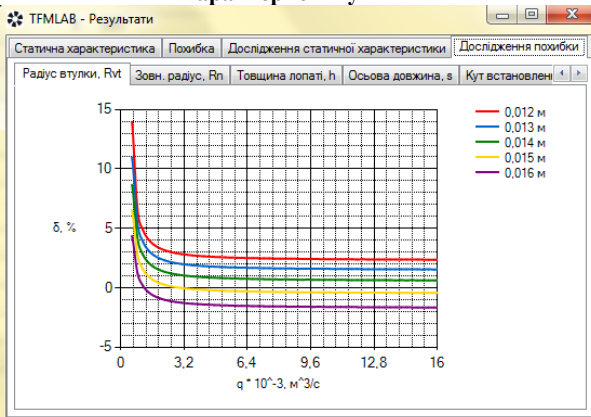


Рис. 13. Вплив зміни радіуса втулки на похибку вимірювання ТВПВ

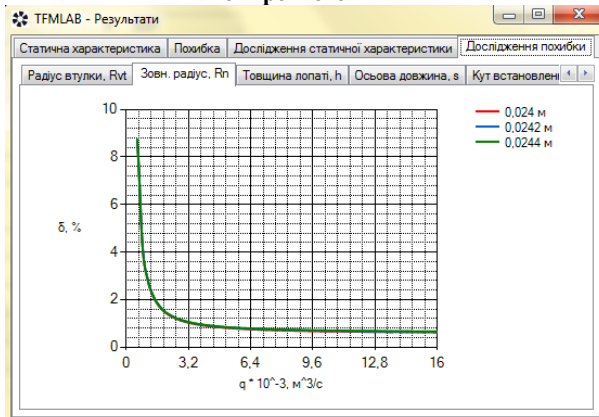


Рис. 14. Вплив зміни зовнішнього радіуса ЧЕ на похибку вимірювання ТВПВ

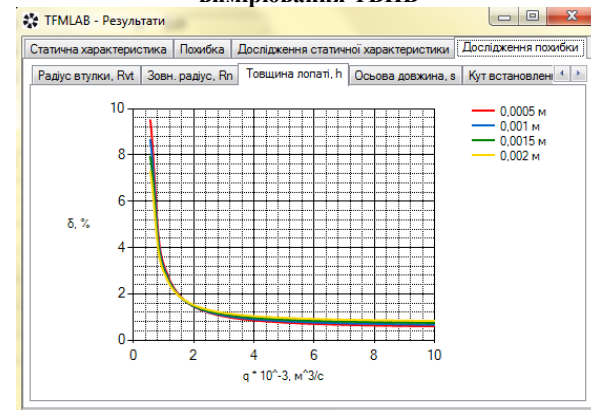


Рис. 15. Вплив зміни товщини лопаті на похибку вимірювання ТВПВ

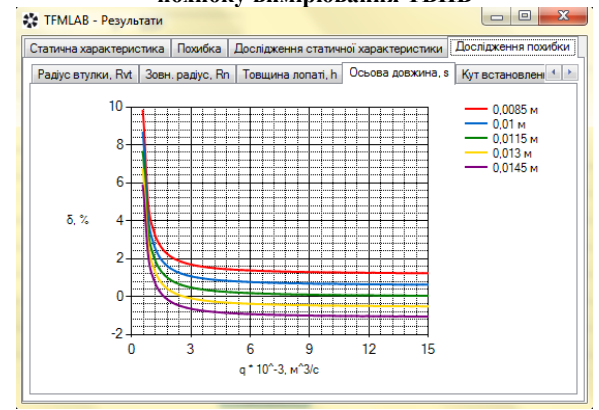


Рис. 16. Вплив зміни осьової довжини турбінки на похибку вимірювання ТВПВ

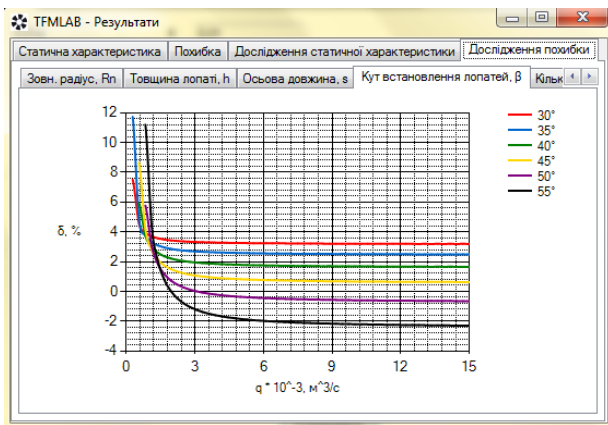


Рис. 17. Вплив зміни кута встановлення лопатей на похибку вимірювання ТВПВ

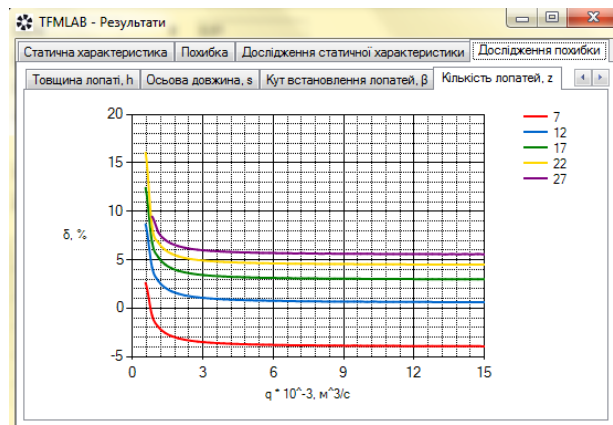


Рис. 18. Вплив зміни кількості лопатей на похибку вимірювання ТВПВ

При необхідності введені дані можна зберегти у файл, що має розширення .tfmlr. Цей файл містить всі введені параметри конкретного ТВПВ, масив додаткових параметрів (якщо вони були введені), а також шлях до файлу потоку (якщо він був завантажений). Аналогічно була реалізована функція відкриття збереженого файлу (рис.19, рис.20). При відкритті файлу у випадку не знаходження шляху до файлу потоку, програма веде себе так, наче файл не завантажений.

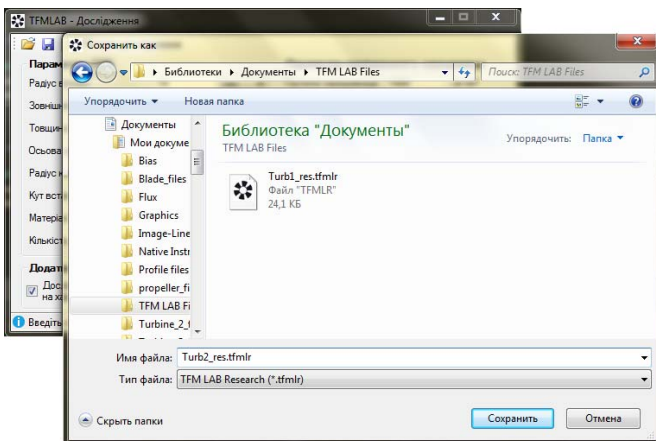


Рис. 19. Збереження файлу дослідження

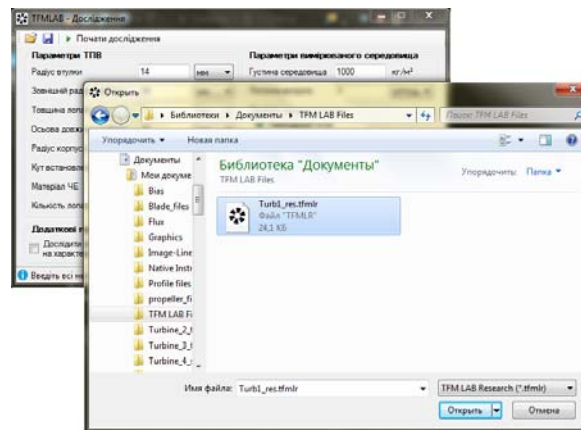


Рис. 20. Відкриття файлу дослідження

Висновки

Розроблений програмний комплекс забезпечує можливості дослідження метрологічних характеристик турбінних вимірювальних перетворювачів витрати рідини і газу різних типорозмірів і у широкому діапазоні умов їх застосування. Це дозволяє аналізувати метрологічні характеристики засобів вимірювальної техніки ще на етапі їх проектування і оцінювати вплив на них параметрів елементів конструкції і реальних умов застосування. Особлива увага приділена дослідженню впливу гідродинамічних показників потоку на метрологічні характеристики приладу, оцінці статичної та динамічної характеристик і похибок вимірювання. Отримані результати сприятимуть вдосконаленню приладів вимірювання витрати і кількості рідини і газу, що сприятиме підвищенню точності їх обліку.

Подальші дослідження направлення на розробленні програмного комплексу оптимізації турбінних вимірювальних перетворювачів витрати рідини і газів за визначеними критеріями.

Анотація. Стаття направлена на решение задачи создания эффективных систем измерения объема и объемного расхода жидкости и газа для построения действенной системы энергосбережения путем организации достоверной регистрации и точного учета топливно-энергетических ресурсов и воды. Правильность выбранных принципов построения измерительных преобразователей расхода и основных технических решений, принятых при этом, предложено оценивать не путем проведения большого количества затратных экспериментально-испытательных работ на макетах и лабораторных образцах, а осуществлением математического и виртуального моделирования с использованием современных информационных технологий. В работе рассматриваются вопросы построения программного комплекса расчетов и исследования, широко применяемых, скоростных преобразователей расхода жидкостей и газа с турбинным чувствительным элементом. Программный комплекс обеспечивает эффективное оценивание правильности выбора значений параметров конструкции приборов при их проектировании и дальнейших исследованиях. Для проведения

комплексных исследований измерительных преобразователей расхода разработано специальное программное обеспечение, позволяющее проведение математического моделирования приборов. Особое внимание уделено исследованию влияния гидродинамических показателей потока на метрологические характеристики прибора, оценке статической и динамической характеристик и погрешностей измерения.

Ключевые слова: расход, измерение расхода, турбинные измерительные преобразователи, моделирование.

Abstract. The article aims to solve the problem of creation of effective measurement systems of volume and volumetric flow rate of liquid and gas in order to build an effective system of energy saving by the organization of reliable registration and accurate accounting of fuel and energy resources and water. Correctness of the chosen construction principles of flow rate measuring transducers and basic technical solutions adopted there is proposed to estimate not through a large amount of costly experimental test works on layouts and laboratory samples but by implementation of mathematical and virtual simulations using modern information technologies. This article consider problems of development of program complex of calculations and research of the widely applied speed transducers of liquids and gas flow rate with turbine sensitive element. Program complex provides the effective estimation of rightness of choice the parameter values for structure of instrument at development and further researches. Special software is developed for realization of complex researches of measuring flow rate transducers that allows realization of math modeling of devices on their base. Special attention is paid to investigation of influence of hydrodynamic factors of flow on metrological characteristics of device, to the estimation of static and dynamic characteristics and errors of measuring.

Keywords: flow rate, flow rate measuring, turbine measuring transducers, modeling

Бібліографічний список використаної літератури

1. *Кремлевский, П. П.* Расходомеры и счетчики количества вещества: справочник [Текст] / П. П. Кремлевский. – Л.: Машиностроение, 1989. – 701 с.
2. *Коробко, И. В.* Использование приборов коммерческого учета на Украине [Текст] / И. В. Коробко, И. А. Гришанова, А. В. Писарец, П. К. Кузьменко // Энергосбережение – 2005. – № 3. – С. 36 – 40.
3. *Коробко, I. V.* Стан і перспективи застосування приладів комерційного обліку енергетичних ресурсів [Текст] / I. V. Коробко, А. В. Писарець, П. К. Кузьменко, Н. В. Воропаєва // Вісник НТУУ "КПІ". Сер. Приладобудування. – 2003. – Вип.26. – С. 53 – 59.
4. *Коробко, I. V.* Комплексний підхід до проблем вимірювання витрат води в системах водопідготовки та водовідведення [Текст] / I. V. Коробко, I. A. Гришанова // Вода і водоочисні технології. – 2005. – № 1. – С. 28 – 33.
5. *Коробко, И. В.* Проблемы эксплуатации систем учета и снабжения водоресурсов [Текст] / И. В. Коробко, А. В. Писарец, П. К. Кузьменко // Сантехника, опалення, кондиціювання. – 2006. – № 7. – С. 11 – 13.
6. *Писарець, А. В.* Турбінні перетворювачі витрати енергоносіїв з гідродинамічним врівноважуванням чутливого елемента [Текст]: моногр. / А. В. Писарець, I. V. Коробко – К.: Корнійчук, 2013р. – 160с.
7. *Гришанова, I.A.* Системи CAD/CAE. ANSYS FLUENT [Текст]: підруч. для вузів / I. A. Гришанова, I. V. Коробко. – К.: Дія ЛТД, 2012. – 208 с.
8. *Коробко, I. V.* Моделювання вимірювальних перетворювачів витрати рідин і газів [Текст] / I. V. Коробко // Міжвуз. зб. "Наукові нотатки". – Вип. 38. – Луцьк., 2012. – С. 101 – 103.
9. *Коробко, I. V.* Оцінка асиметрії потоку рідини при вимірюванні її витрати та кількості [Текст] / I. V. Коробко, Я. В. Волинська // Вісн. НТУУ "КПІ". Сер. Приладобудування. – 2013. – Вип. 45. – С. 91 – 98.
10. *Бобровников, Г. Н.* Теория и расчет турбинных расходомеров [Текст] / Г. Н. Бобровников, Л. А. Камышев.– М.: Изд-во стандартов, 1978. – 128 с
11. *Коробко, I. V.* Дослідження рівняння руху первинного перетворювача швидкісних засобів вимірювання витрат енергоносіїв [Текст] / I. V. Коробко, А. В. Писарець // Вестник НТУУ "КПИ". Сер. Машиностроение. – 2002. – Вип. 42, Т. 2. – С. 42 – 45.
12. *Коробко, I. V.* Визначення рушійного моменту на чутливому елементі перетворювача витрати повітря [Текст] / I. V. Коробко, А. В. Писарець // Вісник НТУУ "КПІ". Серія машинобудування.– 2012.– Вип. 66.– С. 178– 183.

References

1. *Kremlevskij, P.P.* Rashodomery i schetchiki kolichestva veshhestva: spravochnik. Leningrad, Mashinostroenie, 1989. 701p.
2. *Korobko, I. V.,* Grishanova, I.A, Pisarec A. V., Kuz'menko P. K. Jenergoberezhenie. 2005. No 3. pp. 36 – 40.
3. *Korobko, I. V.* Pisarec A. V., Kuz'menko P. K., Voropaeva N.V. Bulletin of NTUU "KPI". Ser. Instrument making. 2003. No 26. pp. 53 – 59.
4. *Korobko, I. V.,* Grishanova I. A. Voda i vodoochisni tehnologii. 2005. No 1. pp. 28 – 33.
5. *Korobko, I. V.,* Pisarec A. V., Kuz'menko P. K. Santechnika, opalennja, kondicijuvannja. 2006. No 7.pp. 11 – 13.
6. *Pisarec, A. V.* Korobko, I. V Turbinni peretvorjuvachi vitrati energonosiv z gidrodinamichnim vrinnovazhuvannjam chutlivogo elementu. Kyiv. Kornijchuk. 2013. 160p.
7. *Grishanova, I.A.,* Korobko, I. V. Sistemi CAD/CAE. ANSYS FLUENT. Kyiv. Dija LTD, 2012. 208 p.
8. *Korobko, I. V.* Mizhvuz. zb. "Naukovi notatki". No 38. Lutsk, 2012. pp. 101 – 103.
9. *Korobko, I. V.,* Volins'ka Ja. V. Bulletin of NTUU "KPI". Ser. Instrument making. 2013. No 45.pp. 91 – 98.
10. *Bobrovnikov, G. N.,* Kamyshhev. Teorija i raschet turbinnih rashodomerov. Moskou. Izd-vo standartov. 1978. 128 p.
11. *Korobko, I. V.,* Pisarec A. V. Journal of Mechanical Engineerir «KPI», 2002, no 42, t. 2. pp. 42 – 45.
12. *Korobko, I. V.,* Pisarec A.V. Journal of Mechanical Engineerir «KPI», 2012, no 66.pp. 178– 183.