

УДК 681.121

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФОРМИ ЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТУ НА ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУРБІННИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ВИТРАТИ

Коробко І. В., Писарець А. В., Фісунов І. О.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
м. Київ, Україна

E-mail: i.korobko@kpi.ua

Метою роботи є пошук раціональної просторової форми чутливого елемента вимірювального перетворювача витрати турбінного класу, за якої забезпечуються найкращі динамічні характеристики. Для досягнення мети отримано аналітичні описи моментів інерції чутливих елементів чотирьох різних просторових форм, які досліджені на розробленому програмному комплексі, визначено сталі часу для кожного чутливого елемента в діапазоні вимірюваних витрат, оцінені просторові форми чутливих елементів за законом зміни сталої часу.

Ключові слова: витрата, вимірювання, чутливий елемент, динамічні характеристики, турбінний перетворювач.

Вступ. Постановка проблеми

У зв'язку з необхідністю вимірювання змінних у часі витрат істотного значення набуває дослідження швидкодії турбінних перетворювачів витрат (ТПВ). Особливістю роботи ТПВ у динамічному режимі є обертання чутливого елемента (ЧЕ) з прискоренням та вплив інерції як турбінки, так і вимірюваної рідини. Важливо оцінити вплив основних параметрів і геометричних форм елементів конструкції приладу на його швидкодію.

Питання динаміки турбінних перетворювачів витрати розглядалися у наукових працях відомих вчених Бошняка Л. Л., Бизова Л. М., Бобровникова Г. Н., Камишева Л. А. та інших [1, 2], де досліджувалися питання впливу зміни параметрів лопатей чутливого елемента (ЧЕ) на динамічні характеристики приладу. В той же час, питання профілювання інших частин втулки ЧЕ не знайшли достатнього відображення у літературі.

Постановка задачі

Метою роботи є пошук раціональної просторової форми ЧЕ ТПВ, за якої забезпечуються найкращі динамічні характеристики.

Робота ТПВ описується диференціальним рівнянням обертового руху ЧЕ

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

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

Одним з головних чинників, які впливають на швидкодію ТПВ, є момент інерції ЧЕ (рис. 1). Необхідно дослідити дію параметрів конструкції ЧЕ та геометричної форми на швидкодію приладу.

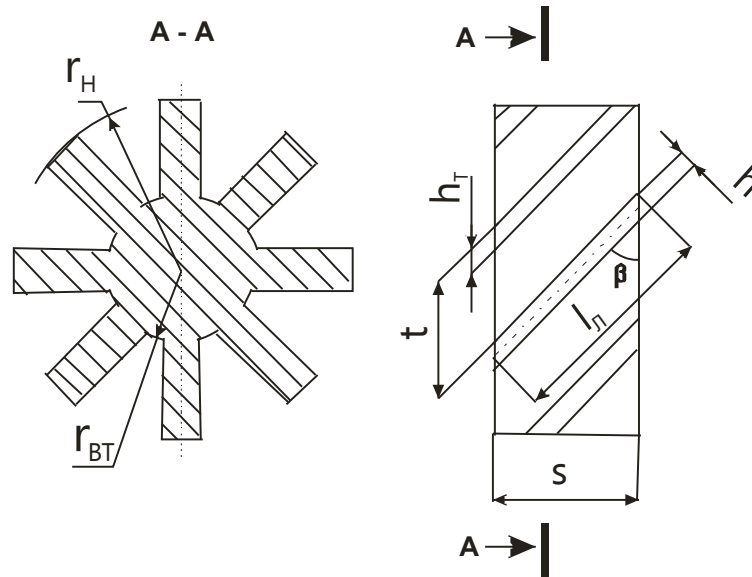


Рис. 1. Основні геометричні характеристики ЧЕ

Оцінювання впливу просторової форми чутливого елемента на швидкодію засобу вимірювання

Для досягнення мети було обрано ЧЕ чотирьох різних просторових форм з однаковими за геометричними характеристиками турбінками (число лопатей, радіус втулки, зовнішній радіус, осьова довжина турбінки, кут встановлення лопатей на середньому радіусі та їх товщина):

- традиційна турбінка, що являє собою циліндричну втулку з гвинтоподібними лопатями (рис. 2, а);
- ЧЕ, що представляє собою турбінку, передній торець втулки якої виконано у формі півкулі з визначеною товщиною стінки (рис. 2, б);
- турбінка з коаксіальним кільцем, встановленим на середньому радіусі ЧЕ, товщиною, рівною товщині профілю лопаті (рис. 2, в);
- турбінка з втулкою у формі півкулі та коаксіальним кільцем товщиною, що дорівнює товщині профілю лопаті, встановленим на середньому радіусі ЧЕ (рис. 2, г).

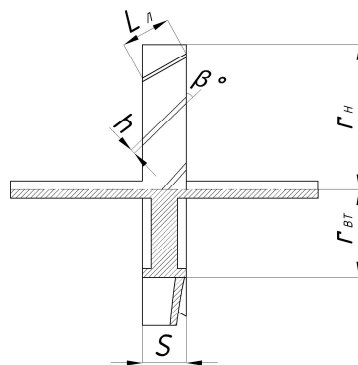
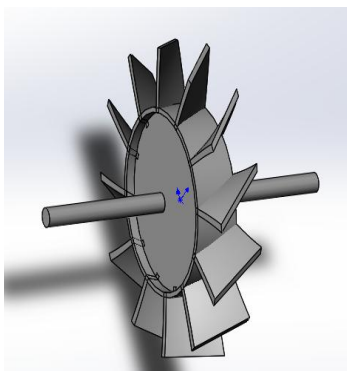
Визначимо моменти інерції досліджуваних ЧЕ з урахуванням приєднаних до них мас вимірюваного середовища відповідно до методики, наведеної у роботі [3].

Для чутливого елемента традиційної форми (ЧЕ 1) маємо

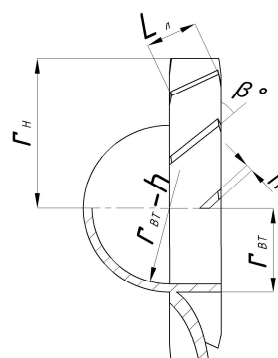
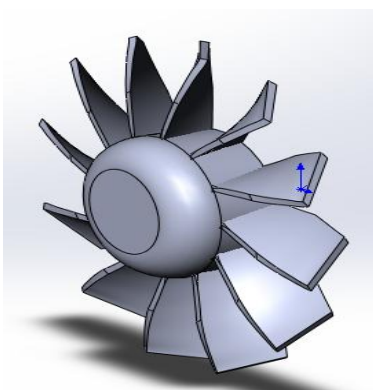
$$J = J_{\text{ВТ}} + z \cdot J_{\text{Л}} + J_{\text{ПРВТ}} + z \cdot J_{\text{ПРЛ}}, \quad (2)$$

де $J_{\text{ВТ}}$ – момент інерції втулки; $J_{\text{Л}}$ – момент інерції лопаті; $J_{\text{ПРВТ}}$ – приєднаний момент інерції втулки; $J_{\text{ПРЛ}}$ – приєднаний момент інерції лопаті.

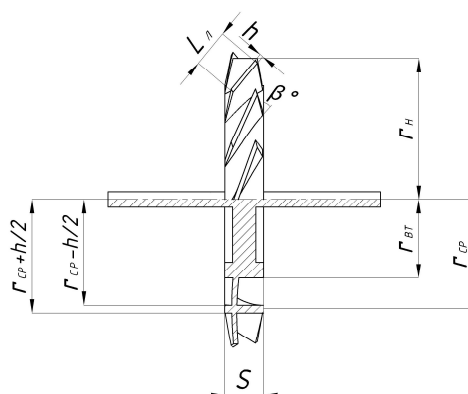
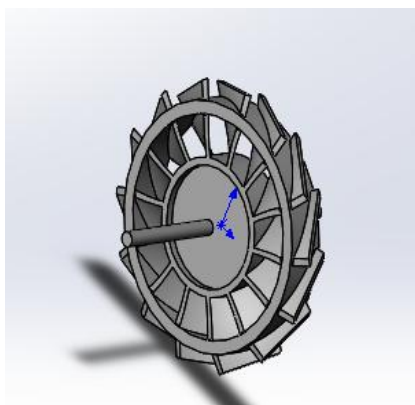
Приєднаний момент інерції циліндричної втулки відносно осі обертання дорівнює нулю, оскільки обертання навколо вісі симетрії не викликає збурення рідини [4].



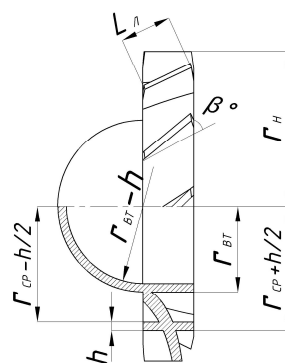
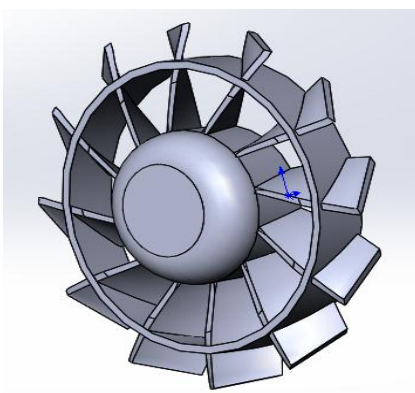
а)



б)



в)



г)

Рис. 2. Досліджувані форми ЧЕ: а – ЧЕ 1; б – ЧЕ 2; в – ЧЕ 3; г – ЧЕ 4

З врахуванням усіх складових вираз (2) набуває виду

$$J = \frac{1}{2} \pi \rho_1 r_{\text{BT}}^4 s + z \rho_1 (r_{\text{H}} - r_{\text{BT}}) h l_{\text{Л}} r_{\text{CP}}^2 + z \left(\frac{1}{12} \left[\left((r_{\text{H}} - r_{\text{BT}})^2 + l_{\text{Л}}^2 \right) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \sin^2 \beta + \left(h^2 + (r_{\text{H}} - r_{\text{BT}})^2 \right) \cos^2 \beta \right] \times \rho_1 (r_{\text{H}} - r_{\text{BT}}) h l_{\text{Л}} \right) + \\ + z \rho_2 \left(\mu_z \frac{l_{\text{Л}} h^4}{48} + r_{\text{CP}}^2 (r_{\text{H}} - r_{\text{BT}}) h l_{\text{Л}} \right), \quad (3)$$

де ρ_l – густина матеріалу ЧЕ; r_{BT} – радіус поверхні втулки; s – осьова довжина турбінки; z – кількість лопатей; r_{H} – радіус зовнішньої поверхні лопатей; h – товщина профілю лопаті; $l_{\text{Л}}$ – довжина хорди профілю лопаті; r_{CP} – середній радіус нормального перерізу; β – кут встановлення лопатей на середньому радіусі; ρ_2 – густина вимірюваного потоку; μ_z – коефіцієнт приєднаної маси перерізу лопаті;

Чутливий елемент другого типу (ЧЕ 2) відрізняється формою втулки. В цьому разі, вираз (2) набуде виду

$$J = \frac{1}{2} \pi \rho_1 s \left(r_{\text{BT}}^4 - (r_{\text{BT}} - h)^4 \right) + z \rho_1 (r_{\text{H}} - r_{\text{BT}}) h l_{\text{Л}} r_{\text{CP}}^2 + \frac{8}{15} \pi \rho_1 \left(r_{\text{BT}}^5 - (r_{\text{BT}} - h)^5 \right) + \\ + z \left(\frac{1}{12} \left[\left((r_{\text{H}} - r_{\text{BT}})^2 + l_{\text{Л}}^2 \right) \sin^2 \beta + \left(h^2 + (r_{\text{H}} - r_{\text{BT}})^2 \right) \cos^2 \beta \right] \times \right. \\ \left. \times \rho_1 (r_{\text{H}} - r_{\text{BT}}) h l_{\text{Л}} \right) + z \rho_2 \left(\mu_z \frac{l_{\text{Л}} h^4}{48} + r_{\text{CP}}^2 (r_{\text{H}} - r_{\text{BT}}) h l_{\text{Л}} \right). \quad (4)$$

Форма ЧЕ 3 відрізняється від форми ЧЕ 1 встановленим на середньому радіусі кільцем. внаслідок цього залежність (2) можна представити виразом

$$J = \frac{1}{2} \pi \rho_1 r_{\text{BT}}^4 s + z \rho_1 (r_{\text{H}} - r_{\text{BT}}) h l_{\text{Л}} r_{\text{CP}}^2 + z \left(\frac{1}{12} \left[\left((r_{\text{H}} - r_{\text{BT}})^2 + l_{\text{Л}}^2 \right) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \sin^2 \beta + \left(h^2 + (r_{\text{H}} - r_{\text{BT}})^2 \right) \cos^2 \beta \right] \times \rho_1 (r_{\text{H}} - r_{\text{BT}}) h l_{\text{Л}} \right) + \\ + \frac{1}{2} \pi \rho_1 s \left(\left(r_{\text{CP}} + \frac{h}{2} \right)^4 - \left(r_{\text{CP}} - \frac{h}{2} \right)^4 \right) + z \rho_2 \left(\mu_z \frac{l_{\text{Л}} h^4}{48} + r_{\text{CP}}^2 (r_{\text{H}} - r_{\text{BT}}) h l_{\text{Л}} \right). \quad (5)$$

Просторова форма ЧЕ 4 є комбінацією ЧЕ 2 та ЧЕ 3. У цьому разі, вираз (2) набуде виду

$$J = \frac{1}{2} \pi \rho_1 s \left(r_{\text{BT}}^4 - (r_{\text{BT}} - h)^4 \right) + z \rho_1 (r_{\text{H}} - r_{\text{BT}}) h l_{\text{Л}} r_{\text{CP}}^2 + \\ + z \left(\frac{1}{12} \left[\left((r_{\text{H}} - r_{\text{BT}})^2 + l_{\text{Л}}^2 \right) \sin^2 \beta + \left(h^2 + (r_{\text{H}} - r_{\text{BT}})^2 \right) \cos^2 \beta \right] \times \right. \\ \left. \times \rho_1 (r_{\text{H}} - r_{\text{BT}}) h l_{\text{Л}} \right) + z \rho_2 \left(\mu_z \frac{l_{\text{Л}} h^4}{48} + r_{\text{CP}}^2 (r_{\text{H}} - r_{\text{BT}}) h l_{\text{Л}} \right) + \\ + \frac{8}{15} \pi \rho_1 \left(r_{\text{BT}}^5 - (r_{\text{BT}} - h)^5 \right) + \frac{1}{2} \pi \rho_1 s \left(\left(r_{\text{CP}} + \frac{h}{2} \right)^4 - \left(r_{\text{CP}} - \frac{h}{2} \right)^4 \right). \quad (6)$$

На підґрунті створеної авторами математичної моделі роботи ТПВ [3], що описує взаємодію потоку вимірюваного середовища з елементами приладу, розроблено програмний комплекс для дослідження його метрологічних характеристик [5]. Таке програмне забезпечення дозволяє розв'язувати задачі перевірки гіпотез стосовно дії тих чи інших фізичних факторів на ефективність процесу вимірювання витрати і кількості, визначати метрологічні характеристики та дію різних фізичних чинників на них, здійснювати розв'язання цілого класу задач, які мають однакові, або подібні аналітичні структури; уточнювати математичні моделі, визначати сприятливі технологічні режими функціонування, оптимізувати параметри конструкції перетворювачів, візуалізувати процеси на екрані ПЕОМ.

На підґрунті виразів (3) – (6) побудовано математичні моделі для чотирьох досліджуваних ЧЕ і отримано їх динамічні характеристики за Q_{\min} ; $0,2Q_{\max}$ (рис. 3); $0,5Q_{\max}$ та Q_{\max} , що дозволило оцінити вплив просторової форми ЧЕ на сталу часу приладу у діапазоні вимірюваних витрат (рис. 4).

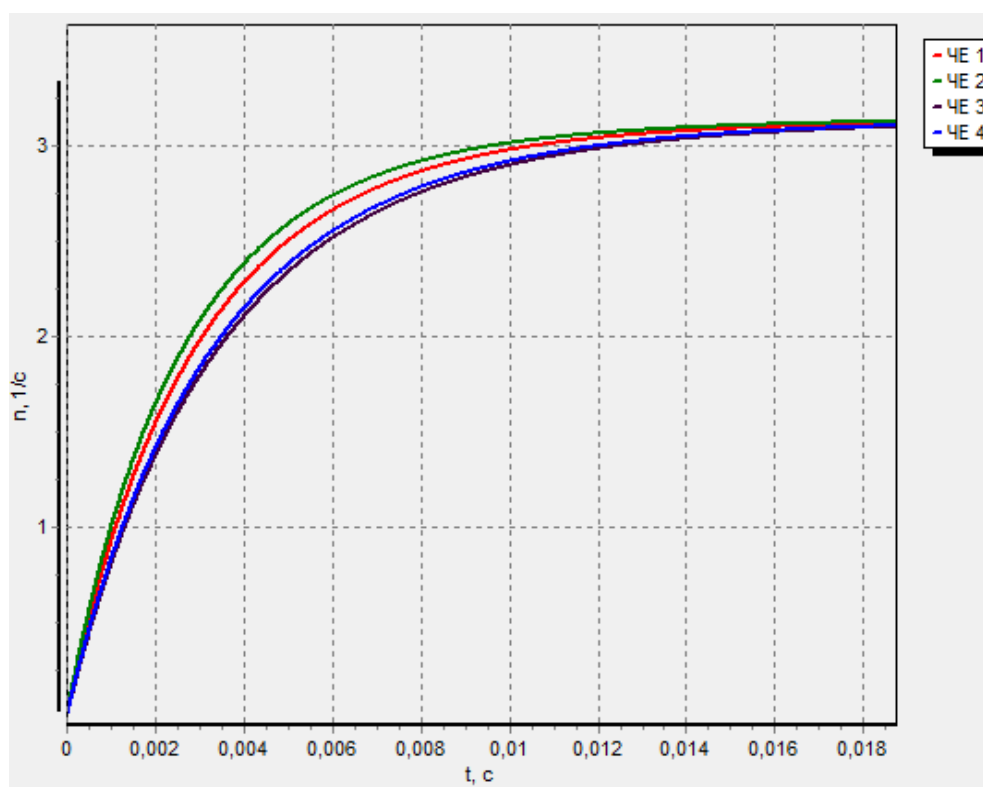


Рис. 3. Динамічна характеристика ТПВ за витрати $0,2Q_{\max}$

Висновки

Результати проведених досліджень свідчать про таке:

- для ЧЕ 1, ЧЕ 2, ЧЕ 4 залежність сталої часу від витрати має однаковий характер у всьому діапазоні зміни витрати; причому ЧЕ 2 забезпечує найліпші динамічні властивості;
- у діапазоні витрат $Q_{\min} - 0,2Q_{\max}$ найвищі динамічні властивості забезпечує форма ЧЕ 2, що являє собою турбінку, передній торець втулки якої виконано у формі півкулі з визначеною товщиною стінки;

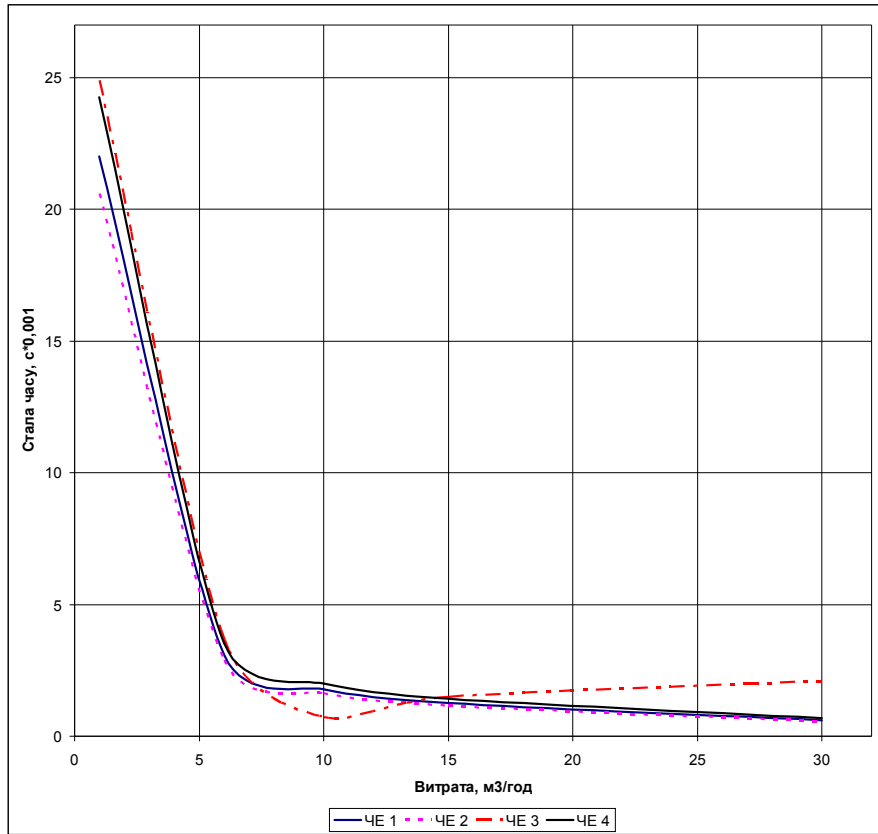


Рис. 4. Залежність сталої часу ТПВ від витрати

- кращі динамічні властивості у діапазоні витрати $0,2Q_{\max} - 0,5Q_{\max}$ має ЧЕ 3, ЧЕ інших досліджуваних просторових форм мають майже однакові характеристики;
- у діапазоні витрат $0,5Q_{\max} - Q_{\max}$ стала часу для конструкції з ЧЕ 3 майже не змінюється, але залишається більшою за сталі часу трьох інших конструкцій.

Подальші дослідження направлені на оцінювання комплексного впливу на динамічні характеристики турбінного перетворювача витрати різних впливових чинників та силової обопільної дії потоку середовища і елементів засобів вимірювання.

Література

1. Бошняк Л. Л. Тахометрические расходомеры / Л. Л. Бошняк, Л. Н. Бызов. – Л.: Машиностроение, 1968. – 212 с.
2. Теория и расчет турбинных расходомеров / Г. Н. Бобровников, Л. А. Камышев. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 128 с.
3. Писарець А. В. Турбінні перетворювачі витрати енергоносіїв з гідродинамічним врівноваженням чутливого елементу: монографія / А. В. Писарець, І. В. Коробко. – К.: "Корнійчук", 2013. – 159 с.
4. Риман И. С. Присоединенные массы тел различной формы / И. С. Риман, Р. Л. Крепс // Труды ЦАГИ №635. – Изд-во бюро новой техники, 1947. – 48 с.
5. Писарець А. В. Система проектування турбінних перетворювачів витрати // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2013. – Вип. 46. – С. 126 – 133.

Надійшла до редакції
27 квітня 2015 року

© Коробко І. В., Писарець А. В., Фісунов І. О., 2015