

УДК 621.671

Профілювання лопаті робочих коліс проміжного ступеня відцентрового насоса на задану форму потоку

Косторной О. С. к.т.н., Косторной С. Д. д.т.н., проф., Бондарєв О. О.

АТ “ВНДІАЕН” Науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут атомного та енергетичного насособудування, м. Суми, Україна

Анотація: При проектуванні ступенів відцентрових насосів важливим і трудомістким завданням є профілювання лопатей робочих коліс. В роботі запропонований метод профілювання лопатей робочих коліс, заснований на аналітичному виборі залежності зміни циркуляції уздовж лінії течії. Запропонований вище метод реалізований в АТ «ВНДІАЕН» у вигляді програмного забезпечення, яке дозволяє профілювати лопать робочого колеса проміжного ступеня відцентрового насоса на задану форму меридіанного потоку і автоматизує процес побудови теоретичного креслення робочого колеса. В роботі представлені результати фізичного експерименту по апробації даного методу. Проведені фізичні випробування на експериментальному стенді, розрахованого за допомогою розробленого програмного забезпечення робочого колеса, показали застосовність запропонованого методу.

Ключові слова: профілювання лопаті, робоче колесо, проміжна ступень, лінія течії.

Вступ

При профілюванні лопаті робочого колеса відцентрового насоса на задану форму потоку виникає завдання вибору закону зміни циркуляції вздовж лінії течії, який забезпечує необхідний кут охоплення лопаті.

У робочому колесі відцентрового насоса приймаємо вісесиметричну модель течії. Для опису вісесиметричного руху рідини в робочому колесі Г. Лоренц ввів у рівняння руху рідини масові лопатеві сили F , які замінюють сили тиску, що діють на лопаті робочого колеса з кінцевим числом лопатей. Для цього випадку основне рівняння руху рідини в робочому колесі має вигляд [1]:

$$\vec{\Omega} \times \vec{V} = \text{grad}(gE) + \vec{F} \quad (1)$$

де

\vec{V} — вектор абсолютної швидкості,

$$\vec{\Omega} = \text{rot}(\vec{V}) \quad (2)$$

\vec{F} — масові лопатеві сили,

$$E = \frac{V^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} + z \text{ — повна енергія.}$$

Граничні умови - відносний потік збігається з поверхнею лопатей, масові сили спрямовані перпендикулярно до поверхні:

$$\vec{W} \cdot \vec{n} = 0, \vec{F} \times \vec{n} = 0. \quad (3)$$

Таким чином, при сталому вісесиметричному русі завдяки наявності в рівнянні сили \vec{F} закрутка потоку і енергія рідини стають змінними вздовж ліній струму в області робочого колеса. Отримані граничні умови застосовуються при проектуванні лопаті робочого колеса відцентрового насоса в меридіональному потоці.

Алгоритм вирішення

Профілювання лопаті на задану форму потоку виконується методом [2-4], який є розвитком методу Бауерсфельда - Вознесенського [5, 6].

Основні положення методики профілювання лопаті на задану форму потоку:

- 1) Потік у проточній частині в області робочого колеса приймається віссиметричним.
- 2) Меридіональний потік приймається рівношвидкісним.
- 3) Потік перед і за робочим колесом приймається потенційним.
- 4) У зоні робочого колеса змінюється закрутка потоку.
- 5) Поверхня лопаті є поверхнею течії відносного потоку.
- 6) Поверхня лопаті є вихровою поверхнею.

7) Виконується умова $\vec{V} \cdot \vec{\Omega} = 0$, яка забезпечує мінімізацію втрат і максимальну передачу енергії.

У меридіональному перерізі робочого колеса будується рівношвидкісний потік. Лінії рівношвидкісного потоку визначають лінії течії, вихрові лінії є ортогоналями (рис. 1).

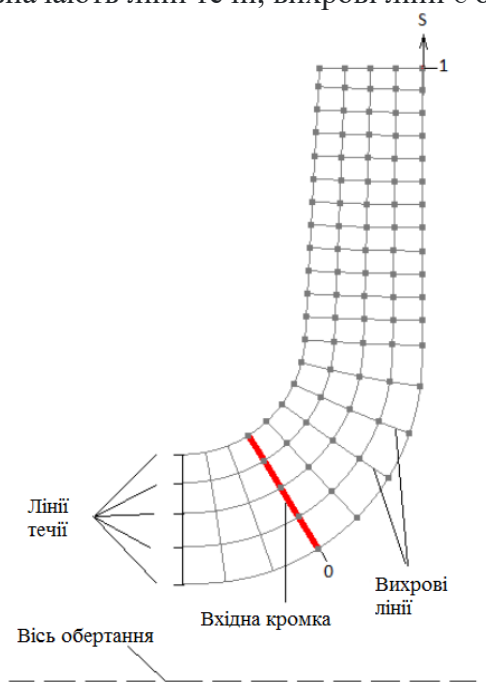


Рис. 1 — Лінії течії рівношвидкісного потоку в меридіональному перерізі робочого колеса

Програмна реалізація методу

В АТ «ВНДІАЕН» для виконання автоматизованого вирішення завдання профілювання лопаті робочого колеса за заданими параметрами в номінальному режимі роботи проміжного ступеня відцентрового насоса, розроблено власне програмне забезпечення, яке дозволяє (рис.2):

- 1) за заданими параметрами проміжного ступеня при нульовій закрутці на вході визначати геометричні параметри робочого колеса;
- 2) будувати рівношвидкісний потік у проточній частині робочого колеса;
- 3) розраховувати координати ліній течії в меридіанному перерізі і значення окружної складової швидкості;
- 4) розраховувати лопать і виконувати її побудову в плані;
- 5) будувати меридіанні перерізи робочої та тильної сторони лопаті;
- 6) генерувати скрипт теоретичного креслення робочого колеса.

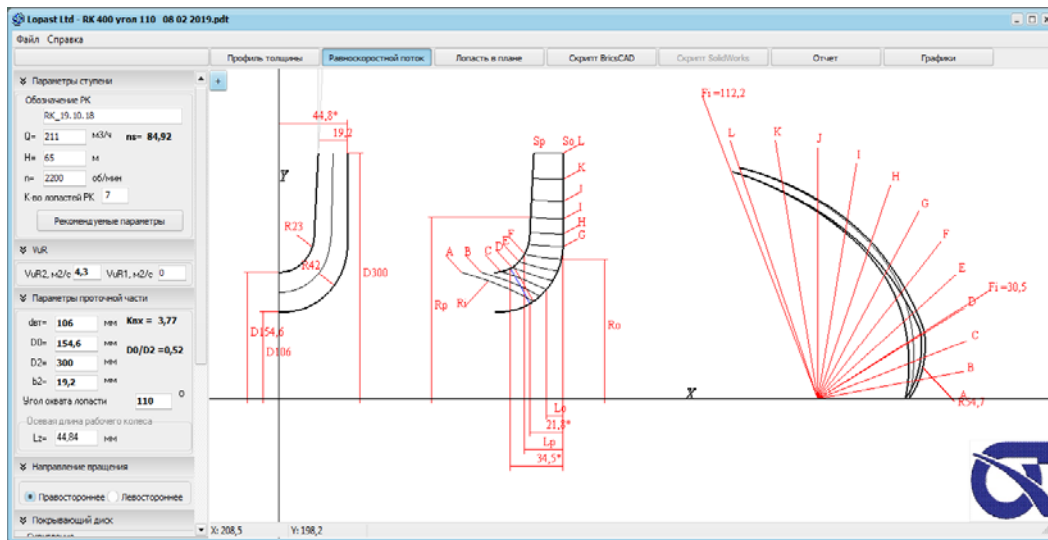


Рис. 2 — Головна форма програми

Для підтвердження отриманих результатів роботи реалізованого програмного забезпечення було прийнято рішення провести випробування за допомогою фізичного експерименту. Як зразок було спроектовано робоче колесо з коефіцієнтом швидкохідності $\eta_s = 85$. Фізичні випробування робочого колеса проводилися на модельному стенді АТ «ВНІАЕН».

Експериментальні роботи

Для створення робочого колеса було обрано спосіб 3D прототипування. Головними перевагами даного способу є його оперативність і швидка реалізація, а також висока точність.

Фахівцями АТ «ВНІАЕН» розроблена і апробована методика випробувань для робочого колеса, виготовленого способом 3D прототипування. Низкою фізичних експериментів було встановлено, що виготовлене робоче колесо здатне витримувати навантаження при проведенні випробувань до швидкості обертання валу 2500 об/хв без будь-яких пошкоджень. Для надійної фіксації робочого колеса на вал випробувального стенду було прийнято рішення про встановлення металеві втулки.



Рис. 3 — Приклад робочого колеса, виготовленого способом 3D прототипування з встановленою металеві втулкою

Висновки

Розроблене в АТ «ВНДІАЕН» програмне забезпечення дозволяє профілювати лопать робочого колеса і автоматизує процес побудови теоретичного креслення робочого колеса.

Запропонована методика профілювання лопатей робочих коліс, заснована на аналітичному виборі залежності зміни циркуляції вздовж лінії течії, була підтверджена за допомогою фізичного експерименту. Проведені фізичні випробування на експериментальному стенді, розрахованого за допомогою розробленого програмного забезпечення робочого колеса, показали застосовність запропонованого методу. Отримані характеристики випробуваного робочого колеса повністю відповідали вихідним параметрам, які закладалися при проектуванні робочого колеса, значення ККД в номінальному режимі не нижче стандартних значень і характерне для такого типу робочих коліс з відповідним коефіцієнтом швидкохідності.

Список літератури

1. *Lorens H.* Neue Theorie und Berechnung der Kreisrader. Berlin, 1906.
2. *Косторной С.Д.* Профилирование лопасти рабочего колеса радиально – осевой турбины из условия ортогональности линий тока и вихревых линий в абсолютном движении / С.Д. Косторной // Научно-техническая конференция по итогам научной работы за 1966 год. Рефераты докладов. «ХГУ». – 1968. – С.118.
3. *Косторной С. Д.* Новый подход к решению обратной задачи центробежного насоса / С.Д. Косторной, А.К. Давиденко Л.К. Марченко // Серия энергетические и теплотехнические процессы и оборудование, Вісник НТУ «ХПИ». – 2014. –11(985). – С.53-58.
4. *Косторной С.Д.* Автоматизированное проектирование рабочего колеса центробежного насоса / С.Д. Косторной, А.О. Бондарев, Л.К. Марченко // Серия энергетические и теплотехнические процессы и оборудование, Вісник НТУ «ХПИ». – 2014. –14(988). – С.89-95.
5. *Baurfeld W.* Die Konstruktion der Francis-Schaufel nach Lorenzschen Turbinentheorie und ihre Eigenschaften/ Zeitschrift des VDT , 1912, Bd 56. –№ 51.
6. *Вознесенский И. Н.* Жизнь, деятельность и избранные труды в области гидромашиностроения / И. Н. Вознесенский. – М. : Машгиз, 1952. – 354 с.

Design of impeller blades in the intermediate stage of centrifugal pump to a preset shape of flow

A S Kostornoi, S D Kostornoi, O O Bondariev

Abstract: While designing the stages of a centrifugal pump, there is an important and difficult task of impeller blade design. This article deals with an approach to impeller blade design that is based on analytical choice of dependency of flow change along the streamline. The given approach is implemented at JSC “VNIAEN” in form of custom software which lets the user build a line drawing based on given parameters in normal duty of intermediate stage by designing the blade and calculating the geometrical dimensions of the impeller. The given method has been tested and proven with a physics experiment. The physical tests at the simulation test stand of the impeller designed with software tool calculations assistance show viability for the method.

Keywords: “impeller blade design”, “blade”, “intermediate stage of centrifugal pump”, “streamline”.