

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

ТИНЬЯНОВА ІРИНА ІВАНІВНА



УДК 621.224

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОТОЧНОЇ ЧАСТИНИ РАДІАЛЬНО-ОСЬОВОЇ ГІДРОТУРБИНИ
НА ОСНОВІ МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛОПАТЕВИХ
СИСТЕМ**

Спеціальність 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі гідравлічних машин Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

- Науковий керівник:** кандидат технічних наук, професор
Количев Владислав Олександрович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків,
професор кафедри гідравлічних машин
- Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор
Косторной Сергій Дмитрович,
Сумський державний університет, м. Суми,
професор кафедри математичного аналізу і методів
оптимізації
- кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
Сухоробрий Петро Миколайович,
Інститут проблем машинобудування
ім. А.М. Підгорного НАН України, м. Харків,
старший науковий співробітник відділу
гідраеромеханіки енергетичних машин

Захист відбудеться «16» лютого 2012 р. о 12-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.11 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Автореферат розісланий « 13 » січня 2012 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Юдін Ю.О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Поліпшення енергетичних показників гідротурбін (ГТ) представляє важливу проблему, необхідність розв'язку якої обумовлена тенденцією росту вимог до техніко-економічних характеристик.

Удосконалення проточної частини пов'язано з використанням методів чисельного аналізу впливу геометричних параметрів проточної частини (ПЧ) на енергокавітаційні показники гідротурбіни. Шляхом внесення змін у геометрію та наступного прогнозування енергетичних показників проводиться відбір найбільш прийнятних варіантів проточної частини.

Покращення енергетичних якостей в першу чергу залежить від гідродинамічних характеристик елементів проточної частини. Аналіз гідродинамічних характеристик окремих елементів проточної частини дозволяє проаналізувати їхній вплив на енергетичні характеристики гідротурбіни. Результати такого аналізу є принциповою основою для вирішення великого кола питань, що виникають при проектуванні радіально-осьових (РО) гідротурбін. Це питання, які стосуються можливості підвищення максимального ККД, підвищення швидкохідності гідротурбіни та її потужності при збереженні рівня ККД, поліпшення виду кривих ККД і потужності при відході від оптимального режиму та ін.

Моделювання гідродинамічних характеристик з урахуванням особливостей роботи елементів проточної частини дає змогу прийняти рішення які зміни та у які елементи слід внести для покращення техніко-економічних характеристик гідротурбіни. Тому моделювання гідродинамічних характеристик окремих елементів та їх узгодження при проектуванні для удосконалення проточної частини радіально-осьової гідротурбіни є досить актуальним завданням, рішення якого і присвячена дана робота.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася на кафедрі «Гідравлічні машини» НТУ «ХПІ». Здобувач брав участь у виконанні держбюджетних НДР МОН України «Математичне моделювання просторових потоків і робочого процесу гідротурбін» (ДР № 0100U001698), «Визначення характерних закономірностей робочого процесу у високонапірних гідротурбінах з широким діапазоном експлуатаційних напорів та витрат» (ДР № 0103U001504), «Розробка комплексу математичних моделей проточних частин гідротурбін та визначення характерних особливостей робочого процесу» (ДР № 0106U001481), «Створення комплексу математичних моделей оптимізації робочого процесу і проточних частин високонапірних гідротурбін» (ДР № 0109U002390) та госпдоговірної НДР «Development of Space and Blading of High-Head Francis Turbine Fr 80 (H=500 m)» (завод важкого машинобудування «ВНЕС», м. Бхопал, Індія).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є удосконалення проточної частини радіально-осьової гідротурбіни на основі моделювання та узгодження гідродинамічних характеристик лопатевих систем: напрямного апарата (НА) та робочого колеса (РК).

Для досягнення поставленої мети були сформульовані й вирішені основні завдання:

- отримати залежності, що встановлюють вплив геометричних і режимних параметрів робочого колеса на розподіл параметрів потоку вздовж вихідної кромки, необхідні для аналізу узгодження лопаті із відсмоктуючою трубою гідротурбіни;

- розробити підхід до узгодженого вибору геометричних кутів вздовж вхідних і вихідних кромок з їхнім розташуванням у меридіональній проекції для забезпечення заданих параметрів оптимального режиму при проектуванні проточної частини;
- розробити методик у визначення і аналізу гідродинамічних характеристик робочого колеса гідротурбіни, що дозволяє робити узгодження лопатевої системи з підвідними та відвідними елементами радіально-осьової гідротурбіни;
- розробити комплекс прикладних програм для проектування робочого колеса, який забезпечує узгодження заданих і дійсних параметрів оптимального режиму і прогнозування його гідродинамічних характеристик;
- розробити лопатеві системи робочих коліс радіально-осьової гідротурбіни на конкретні параметри, провести порівняння розрахункових характеристик з експериментальними результатами.

Об'єкт дослідження – робочий процес радіально-осьової гідротурбіни.

Предметом дослідження – гідродинамічні характеристики лопатевих систем радіально-осьової гідротурбіни.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети дослідження застосовувалися методи математичного і фізичного моделювання робочого процесу гідромашини, методи вирішення прямої та оберненої задач теорії робочого процесу радіально-осьової гідротурбіни та методи оптимізації, статистичні методи обробки результатів експерименту.

Наукова новизна одержаних результатів:

- розроблено методик у моделювання впливу геометричних параметрів лопатевих систем радіально-осьових гідромашин на гідродинамічні характеристики та енергетичні показники, що дозволяє суттєво підвищити рівень проектування проточної частини;
- встановлені загальні закономірності у зміні гідродинамічних характеристик робочого колеса радіально-осьової гідротурбіни в широкому діапазоні швидкохідності, що є основою для удосконалення проточної частини й застосування методів оптимізації;
- встановлені аналітичні залежності, що визначають вплив геометричних і режимних параметрів робочого колеса на розподіл параметрів потоку вздовж вихідної кромки робочого колеса, для оцінки ефективності взаємодії елементів проточної частини;
- розроблено підхід до формування лопатевої системи робочого колеса, що забезпечує максимум гідравлічного ККД на задані параметри оптимального режиму.

Практичне значення одержаних результатів дисертаційної роботи визначається доцільністю використання розроблених моделей, методик і їх програмною реалізацією, результатами прогнозування енергетичних показників, а також результатами багатоваріантного аналізу впливу геометричних параметрів на параметри оптимального режиму гідротурбіни при проектуванні проточної частини радіально-осьової гідротурбіни.

Створено комплекс програм для проектування і прогнозування енергетичних характеристик робочого колеса радіально-осьової гідротурбіни, що базується на розробленому підході до опису гідродинамічних характеристик елементів проточної частини. Розроблені програми можуть бути використані як при проектуванні гідротурбінного устаткування для тих ГЕС, що будуються, так і при модернізації тих, що існують, та дозволяють забезпечити узгодження елементів проточної частини для поліпшення енергетичних показників гідротурбіни.

Результати дисертаційної роботи впроваджені при проектуванні високоефективної проточної частини для ГЕС Індії та у навчальному процесі НТУ «ХПІ» в дисциплінах «Гідравлічні турбіни», «Основи теорії робочого процесу та гідродинамічного розрахунку лопатевих гідромашин», «Математичне моделювання та оптимізація робочого процесу лопатевих гідромашин».

Особистий внесок здобувача. Усі положення дисертації, які виносяться на захист, отримані здобувачем самостійно, серед них: розробка методики розрахунків та аналізу гідродинамічних характеристик елементів проточної частини гідротурбіни, яка дозволяє оптимізувати геометричні параметри проточної частини; розробка алгоритмів, написання та налагодження основних розрахункових програм, проведення тестових розрахунків; проектування лопатевих систем робочого колеса радіально-осьової гідротурбіни на задані режимні параметри та дослідження їх розрахункових характеристик; проведення чисельного дослідження впливу геометричних параметрів робочого колеса радіально-осьової гідротурбіни на енергетичні показники.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на: VIII Міжнародна конференція «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці» (м. Київ, 2003 р.); Міжнародна науково-технічна конференція «Удосконалювання турбоустановок методами математичного й фізичного моделювання» (Зміїв – 2006 р., 2009 р.); X-XVII Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології, наука, техніка, освіта, здоров'я» (м. Харків, 2002 – 2011 р.р.)

Публікації. За результатами проведених у дисертаційній роботі досліджень опубліковано 10 робіт у фахових наукових виданнях України.

Структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, додатків, списку використаних джерел. Повний об'єм дисертації складає 177 сторінки, серед них: 51 рисунок по тексту, 2 рисунки на 2 окремих сторінках; 3 таблиці по тексту, 3 додатка на 3 сторінках, список використаних джерел із 145 найменувань на 16 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність роботи, сформульована мета і задачі досліджень, визначені основні положення щодо наукової новизни і практичної цінності отриманих у роботі результатів.

У **першому розділі** виконано інформаційно-аналітичний аналіз сучасного стану проблеми, пов'язаної з розробкою та використанням методів розрахунків гідродинамічних характеристик елементів ПЧ і їх застосуванням при проектуванні ПЧ.

Удосконалювання ПЧ базується на досить глибокому дослідженні гідродинамічних характеристик окремих елементів і їх впливі на енергетичні характеристики ГТ. Особливий інтерес становить питання узгодження лопатевих систем у процесі удосконалювання ПЧ РО ГТ. У теорії робочого процесу використовуються різні підходи до визначення гідродинамічних характеристик лопатевих систем – залежностей, що виражають зв'язок кінематичних, енергетичних і параметрів силової взаємодії з геометричними і режимними параметрами При

дослідженні і аналізі гідродинамічних характеристик лопатевих систем (НА і РК) виявляється необхідним знання, як осереднених параметрів потоку, так і розподілу кінематичних параметрів потоку в характерних перерізах ПЧ.

У дисертаційній роботі приводиться аналіз робіт присвячених розрахунковому і експериментальному визначенню осереднених гідродинамічних характеристик НА, що включають його кінематичну характеристику (залежність осередненого кута закручення потоку за НА від відносного відкриття) і характеристику втрат (залежність коефіцієнта втрат від відносного кута закручення). Ці залежності наведені в роботах Климова А.І., Нікітіна І.М., Федулова Ю.І., Яньшиної І.Г., Сухореброго П.М., Количева В.О. та ін. Найбільш повна інформація про структуру потоку, сформованого НА, представляється розподіленими характеристиками НА. Відзначається значна трудомісткість експериментальних методів дослідження структури потоку.

Питанням розрахунково-теоретичного аналізу гідродинамічних характеристик НА присвячені роботи Колтона А.Ю., Етинберга І.Е., Раухмана Б.С., Количева В.О. та ін. У дисертаційній роботі наведені результати систематизації і узагальнення розрахункових і експериментальних осереднених даних, а також розподіл гідродинамічних характеристик НА в широкому діапазоні зміни напорів $H = 45 \div 500$ м. Ці дані необхідні для визначення структури потоку перед РК на різних відкриттях НА як при проектуванні РК, так і для узгодження лопатевої системи РК з потоком, сформованим НА.

Визначальний вплив на формування енергетичних і кавітаційних показників ГТ справляють гідродинамічні характеристики РК, що включають кінематичні характеристики, характеристики силової взаємодії потоку із РК і характеристики втрат. Загальний підхід для визначення і аналізу осереднених гідродинамічних характеристик РК як РО, так і осьової ГТ базується на кінематичному описі потоку за допомогою безрозмірних параметрів (Войташевський Д.А., Нікітін І.М., Количев В.О.). При цьому використовуються дані енергетичних випробувань. Застосування безрозмірних параметрів робить опис універсальним і дає значні зручності для систематизації і узагальнення експериментальних даних. Розрахунки і аналіз розподілених гідродинамічних характеристик ґрунтується на двовимірних та квазітривимірних моделях течії (Вікторов Г.В., Етинберг І.Е., Топаж Г.І., Раухман Б.С.).

Сучасні методи розрахунків просторового потоку дозволяють для заданих конкретних умов знайти розподіл кінематичних параметрів у ПЧ (R. Schilling, S. Riedelbauch, H. Keck, V. Lakshminarayana, Степанов Г.Ю., Моргунов Г.М., Косторной С.Д., Чорний С.Г., Лапін В.Н. та ін.). Установлення загальних закономірностей зміни структури потоку у зв'язку з геометричними та режимними параметрами, представляє досить складне завдання. Для встановлення загальних закономірностей у зміні кінематичних характеристик лопатевих систем залежно від швидкохідності доцільне використання наближених методів опису просторового потоку.

Аналіз науково-технічних джерел показав, що питання про узгодження гідродинамічних характеристик елементів ПЧ недостатньо досліджене, це приводить до розбіжності розрахункових режимних параметрів з оптимальними, а також до зниження рівня ККД. Інформаційно-аналітичний огляду показує необхідність розробки методу розрахунку, аналізу та узгодження елементів ПЧ з метою її удосконалення.

У **другому розділі** наводиться методика розрахунку і аналізу гідродинамічних характеристик елементів ПЧ РО ГТ. Для аналізу впливу геометричних і режимних параметрів на енергетичні характеристики ГТ використовувався підхід, що базується на спільному описі потоку за допомогою осереднених параметрів і спрощених моделей просторової течії.

Осереднені гідродинамічні характеристики описують загальні кінематичні і енергетичні

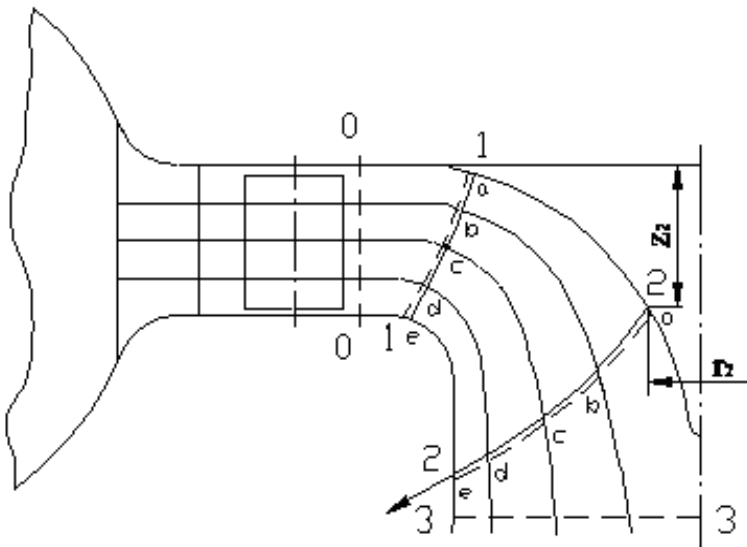


Рис. 1 – Розрахункові перерізи проточної частини радіально-осьової гідротурбіни

властивості лопатевої системи як єдиної просторової решітки. Вони інтегрально виражають загальні закономірності обтікання і силової взаємодії просторових решіток. Загальний підхід до опису гідродинамічних характеристик лопатевих систем базується на використанні безрозмірних параметрів, що характеризують потік у характерних перерізах ПЧ (рис. 1).

Розподілені гідродинамічні характеристики відображають залежність розподілу параметрів потоку в області лопатевої системи від геометричних і режимних параметрів.

Знання розподілених характеристик необхідно для оцінки як енергетичних, так кавітаційних якостей лопатевих систем. При відомих розподілених характеристиках визначаються осереднені гідродинамічні характеристики лопатевих систем.

Гідродинамічні характеристики НА представляються функціональними залежностями $\frac{\Gamma_0 D}{Q} = f(a_0)$ (кінематична характеристика) і $k_{hNA} = f\left(\frac{\Gamma_0 D}{Q}\right)$ (характеристика втрат). У роботі наведені систематизовані та узагальнені експериментальні дані про кінематичні характеристики НА в діапазоні напорів $H = 45 \div 500$ м, які можуть бути використані при проектуванні ПЧ.

Осереднені гідродинамічні характеристики ПЧ включають залежності коефіцієнта теоретичного напору $K_{HT} = f\left(\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, k_Q, \bar{L}_{PK}\right)$ і залежності коефіцієнта втрат

$k_h = f\left(\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, k_Q, \bar{L}\right)$ від режимних і геометричних параметрів. Функціональні залежності

мають вигляд: $K_{HT} = f\left(\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, k_Q, \bar{L}_{PK}\right)$ і $k_h = f\left(\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, k_Q, \bar{L}\right)$.

Залежно від K_{HT} і k_h за допомогою основного рівняння ГТ і рівняння балансу гідравлічної енергії виражаються основні енергетичні параметри ГТ:

$$\eta_{\Gamma} = \frac{k_{HT} \left(\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, k_Q, L_{PK} \right)}{k_{HT} \left(\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, k_Q, L_{PK} \right) + k_h \left(\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, k_Q, L \right)}, \quad Q'_I = \sqrt{\frac{g}{k_{HT} \left(\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, k_Q, L_{PK} \right) + k_h \left(\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, k_Q, L \right)}},$$

$$N_{\Gamma} = \gamma Q'_I \eta_{\Gamma} = \gamma \frac{K_{HT} \left(k_Q, \frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, L \right)}{K_{HT} \left(k_Q, \frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, L \right) + k_h \left(k_Q, \frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, L \right)} \cdot \sqrt{\frac{g}{K_{HT} \left(k_Q, \frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, L \right) + k_h \left(k_Q, \frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, L \right)}} \quad (1)$$

За допомогою безрозмірних комплексів $\frac{\Gamma_i D}{Q}$ і k_Q , що є аргументами у функціональних

залежностях $K_{HT} = f_1 \left(\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, k_Q, L_{PK} \right)$ і $k_h = f_2 \left(\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, k_Q, L \right)$ виражаються умови кінематичної і енергетичної подоби в розрахункових перерізах ПЧ (рис. 1).

Для визначення осереднених кінематичних характеристик у розрахункових перерізах ПЧ, використовуються рівняння кінематичного зв'язку просторових решіток як в абсолютному, так і відносному русі, запропоновані у роботах Войташевського Д.А., Руднева С.С.:

$$\frac{\Gamma_2 D}{Q} = k \frac{\Gamma_1 D}{Q} - (1-k)\mu + (1-k) \frac{\pi}{2} \Lambda^2 k_Q,$$

$$\frac{\Gamma_{2W} D}{Q} = k \frac{\Gamma_{1W} D}{Q} + (1-k)\mu - (1-k) \left(\Lambda^2 - \frac{r_{2R}^2 - k r_{1R}^2}{1-k} \right) \frac{\pi}{2} k_Q \quad (2)$$

У роботі поряд з осередненими кінематичними характеристиками, представленими залежностями (2) розглядається визначення розподілених кінематичних характеристик лопатевих систем, що враховують внутрішню структуру потоку.

При заданій геометрії підвідної частини $\left(\frac{\bar{\Gamma}_{сп} D}{Q} = const \right)$ розподілені кінематичні характеристики НА виражають залежність кінематичних параметрів потоку у вихідному перерізі

(перерізі 0-0) від відносного відкриття НА $\frac{C_m}{Q_I} = f(\bar{a}_0, l)$, $\frac{C_u}{Q_I} = f(\bar{a}_0, l)$, $\frac{\Gamma_{0I}}{Q_I} = f(\bar{a}_0, l)$,

$\alpha_0 = f(\bar{a}_0, l)$, де l – координата точки в перерізі 0-0, щодо верхнього кільця НА; $\bar{a}_0 = \frac{a_0}{a_{\max}}$, –

відносне відкриття НА.

Кінематичні параметри потоку за НА, представлені в безрозмірному вигляді, не залежать від режиму роботи ГТ. При заданій геометрії підвідної частини, осереднені і розподілені кінематичні характеристики НА, залишаються незмінними при роботі турбіни з різними РК

близької швидкохідності. За допомогою осереднених кінематичних параметрів записуються умови кінематичної подоби потоків для природи і моделі за НА, у перерізі 0-0. Це пояснює доцільність їх визначення та застосування для аналізу робочого процесу РО ГТ.

У роботі для розрахунків кінематичних параметрів потоку на вхідній кромці РК використовуються експериментальні залежності розподілу циркуляцій від відкриття НА

$m = \left(\frac{\Gamma_0 D}{Q} \right) / \left(\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q} \right)$, де m – коефіцієнт, враховуючий нерівномірність вхідної циркуляції по висоті лопаті, $\frac{\Gamma_0 D}{Q}$ – безрозмірний кінематичний комплекс у перерізі за НА; $\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}$ –

осереднений кінематичний комплекс. Ці дані необхідні для розрахунків втрат, що виникають при обтіканням вхідної кромки лопаті, і наступного узгодження вхідних елементів лопаті з параметрами потоку, формованого НА.

Експериментальні і розрахункові дослідження показують визначальну роль РК у формуванні енергетичних характеристик ГТ у діапазоні основних експлуатаційних режимів. У зв'язку із цим розробка методів розрахунків і аналізу гідродинамічних характеристик РК є актуальним завданням.

У роботі наведений аналіз формування гідродинамічних характеристик просторових решіток РК. Для цього розроблена методика аналізу гідродинамічних характеристик елементарних решіток, що складають просторову лопатеву систему РК. Такий аналіз необхідний для виявлення ролі окремих решіток на енергокавітаційні показники РК. У ряді робіт Вікторова С.С., Етинберга І.Е. наводяться дані чисельних досліджень, що відображають вплив окремих решіток РК на енергетичні показники оборотних, поворотно-лопатевих і РО ГМ середньої швидкохідності. Для визначення гідродинамічних характеристик решіток, отриманих перерізанням лопатевої системи РК осесиметричними поверхнями току, використовувалися рівняння кінематичного зв'язку в абсолютному та відносному русі для елементарних решіток. У роботі прийнято підхід до визначення гідродинамічних параметрів елементарних решіток без розрахунків обтікання, що полягає у використанні наближених залежностей. На основі запропонованого підходу встановлюються закономірності зміни гідродинамічних характеристик елементарних решіток.

Для визначення розподілених кінематичних параметрів використовувався наближений підхід опису просторового потоку вздовж вихідних кромки. При цьому використовуються рівняння кінематичного зв'язку елементарних решіток разом з рівнянням осередненого осесиметричного руху.

Розподіл безрозмірного коефіцієнта меридіональної швидкості вздовж вихідної кромки

$C_{2m}^* = \frac{C_{2m} D^2}{Q}$ описується диференціальним рівнянням $\frac{dC_{2m}^*}{dl'} + M_2'(l') C_{2m}^* = N_2'(l') k_Q$, де

$M_2'(l')$ і $N_2'(l')$ – безрозмірні коефіцієнти, що залежать від геометричних характеристик поверхні току.

Розв'язок диференціального рівняння враховуючого зсув поверхонь току при зміні режиму роботи гідротурбіни має вигляд $C_{2m}^*(l') = A_2'(l') k_Q - B_2'(l')$, де: l' – довжина, відлічувана уздовж

вихідної кромки; A_2 і B_2 – коефіцієнти, що залежать від розподілу геометричних характеристик лопаті вздовж вихідної кромки.

Залежність безрозмірного коефіцієнта циркуляції від безрозмірних геометричних і режимних параметрів описується виразом

$$\frac{\Gamma_2 D}{Q} = 2\pi \left(r_2'^2 + r_2' A_2' \operatorname{ctg} \beta_2^* - r_2'^2 \left(\frac{r_a^2}{r_2'^2} - \frac{r_1'^2}{r_2'^2} \right) \right) k_Q - 2\pi r_2' B_2' \operatorname{ctg} \beta_2^*$$

де $A_2' = \frac{A_2}{D}$, $B_2' = B_2 D^2$, $r_2' = \frac{r_2}{D}$.

Експериментальні дані кафедри гідромашин НТУ «ХП» про структуру потоку за РК у широкому діапазоні напорів ($H = 100 \div 500$ м), показують, що коефіцієнт меридіональної швидкості та коефіцієнт циркуляції лінійно залежать від режимного параметра k_Q (рис. 2). Це підтверджує справедливості отриманих залежностей, що встановлюють зв'язок кінематичних характеристик за РК з його геометричними і режимними параметрами.

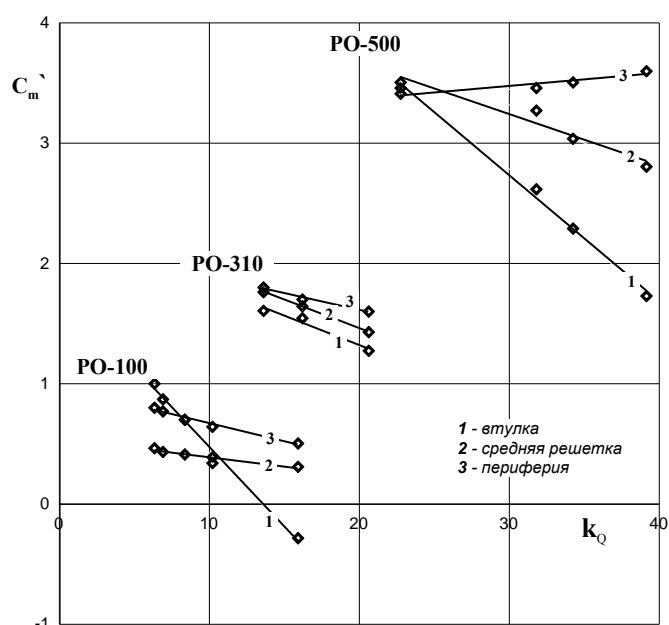


Рис. 2а – Залежність $C_m = f(k_Q)$

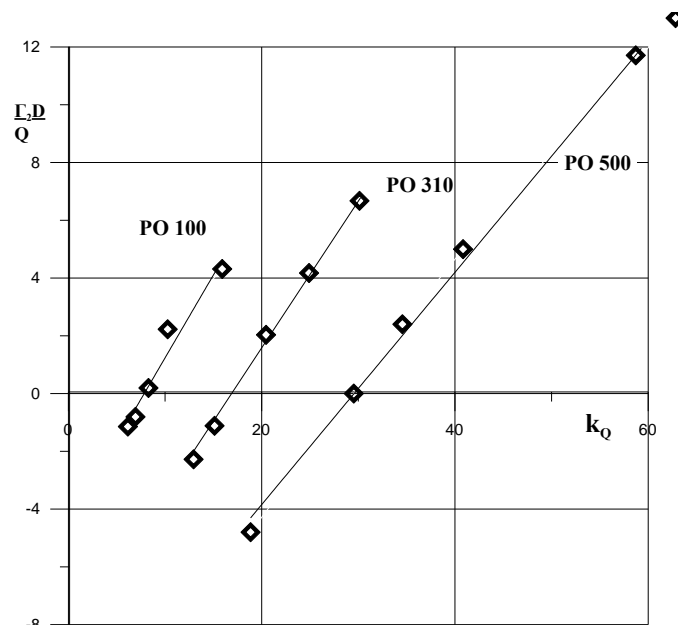


Рис. 2б – Залежність $\frac{\Gamma_2 D}{Q} = f(k_Q)$

Встановлена структурна залежність коефіцієнта втрат у РК від режимних і гідродинамічних параметрів просторових решіток РК, що справляє основний вплив на формування оптимального режиму і вид кривих ККД при відході від нього. Коефіцієнт втрат представляється у вигляді:

$$k_h = k_{\text{під}} \left(\frac{\Gamma_0 D}{Q}, L_{\text{під}} \right) + k_{\text{РК}} \left(k_Q, \frac{\Gamma_0 D}{Q}, L_{\text{РК}} \right) + k_{\text{від}} (L_{\text{від}}),$$

де $k_{\text{під}}\left(\frac{\Gamma_0 D}{Q}, L_{\text{під}}\right)$ – характеристика втрат у підводі; $k_{\text{РК}}\left(k_Q, \frac{\Gamma_0 D}{Q}, L_{\text{РК}}\right)$ – характеристика

втрат у РК. Для встановлення структури залежності коефіцієнта втрат у РК проведено аналіз формування енергетичних характеристик РО ГТ на підставі даних універсальних характеристик.

Для визначення параметрів залежності коефіцієнта втрат вирішувалася задача параметричної ідентифікації. Параметри, що входять у дану залежність, були визначені за допомогою даних енергетичних випробувань.

Залежність коефіцієнта гідравлічних втрат ПЧ являє собою поверхню другого порядку і може бути представлена у вигляді рівняння другого порядку

$$k_h = b_0 k_Q^2 + b_1 \left(\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}\right)^2 + b_2 k_Q + b_3 \left(\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}\right) + b_4.$$

Також наведена методика визначення гідродинамічних параметрів РК з використанням даних енергетичних випробувань у широкому діапазоні швидкохідності.

Наведена методика розрахунку і аналізу гідродинамічних характеристик елементів ПЧ базується на спільному використанні моделі осередненого закрученого потоку і спрощеної моделі просторового потоку у безлопатеких ділянках проточного тракту. При визначенні параметрів кінематичних характеристик, характеристик силової взаємодії і характеристик втрат через геометричні та режимні параметри використовуються загальні закономірності обтікання гідродинамічних решіток. Застосування цих залежностей є доцільним як для аналізу впливу геометричних параметрів на енергетичні характеристики, так і для оптимізації гідродинамічних характеристик РК й енергетичних характеристик ГТ. Методика дозволяє проводити необхідну оцінку гідродинамічних якостей РК і енергетичних характеристик ГТ для узгодження елементів ПЧ при виборі геометричних параметрів.

У **третьому розділі** представлені результати дослідження впливу геометричних параметрів на гідродинамічні характеристики елементів ПЧ і на режимні та енергетичні параметри РО ГТ.

Підвищення енергокавітаційних показників безпосередньо зв'язане як з удосконалюванням гідродинамічних характеристик лопатевих систем, так і з їхнім узгодженням. У роботі приводяться результати дослідження впливу геометрії НА і РК на гідродинамічні характеристики, та аналізується вплив геометрії підводу і відводу на параметри оптимального режиму.

Внесення змін у геометрію НА виявляється в зміні його гідродинамічних характеристик:

$$\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q} = f(\bar{a}_0) \text{ – кінематична характеристика НА, } k_{h \text{ НА}} = f\left(\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}\right) \text{ – характеристика втрат НА.}$$

Внесення змін у геометрію РК приводить до зміни як теоретичної напірної характеристики

$$K_{HT}\left(k_Q, \frac{\Gamma_0 D}{Q}\right), \text{ так і характеристики втрат } k_h\left(k_Q, \frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}\right).$$

Вплив спіральної камери і статора відображається відповідними коефіцієнтами втрат.

При модифікуванні РК для збільшення одиничної потужності РО ГТ, відповідно до (1), слід

мати на увазі, що збільшення витрати вимагає зменшення $K_{HT} = f\left(k_Q, \frac{\Gamma_0 D}{Q}\right)$. При цьому для

збереження ККД необхідно зменшити величину $k_h = f\left(k_Q, \frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}\right)$. Ці міркування слід ураховувати при розрахунково-теоретичному відпрацьовуванні ПЧ. У зв'язку із цим є досить актуальним питання систематизації та узагальнення розрахункових і експериментальних даних про вплив геометричних параметрів на гідродинамічні характеристики $K_{HT} = f\left(k_Q, \frac{\Gamma_0 D}{Q}\right)$ і $k_h = f\left(k_Q, \frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}\right)$.

У роботі показана визначальна роль РК у формуванні енергетичних характеристик ГТ в діапазоні основних експлуатаційних режимів. Порівняльний аналіз показує суттєвий вплив характеристики втрат РК $k_{hPK} = f\left(k_Q, \frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}\right)$ на формування енергетичної характеристики ГТ

$\eta_T = f\left(k_Q, \frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}\right)$. Відзначається закономірний зсув як ізоліній гідравлічного ККД, так і ізоліній

коефіцієнтів втрат у РК в полі безрозмірних параметрів $\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}$, k_Q при переході від однієї швидкохідності до іншої. Характерним є те, що для кожної із швидкохідностей режими $\max \eta$ і $\min k_h$ розташовуються на одній і тій же прямій $k_{Q \text{ опт}} = \text{const}$, тобто координати оптимального режиму $k_{Q \text{ опт}}$ і режиму мінімуму коефіцієнтів втрат $k_Q|_{h_{\min}}$ практично однакові. Величина $k_{Q \text{ опт}}$ визначається геометрією РК, тому $k_{Q \text{ опт}} \approx k_Q|_{k_{PKm}}$.

Вплив підводу та відводу ГТ проявляється у зсуві оптимального режиму вздовж променя $k_{Q \text{ опт}} = \text{const}$. Зміна коефіцієнта втрат приводить до зміни величини гідравлічного ККД на оптимальному режимі. Відзначається зростання ролі НА в енергетичному балансі гідротурбіни зі зменшенням його висоти.

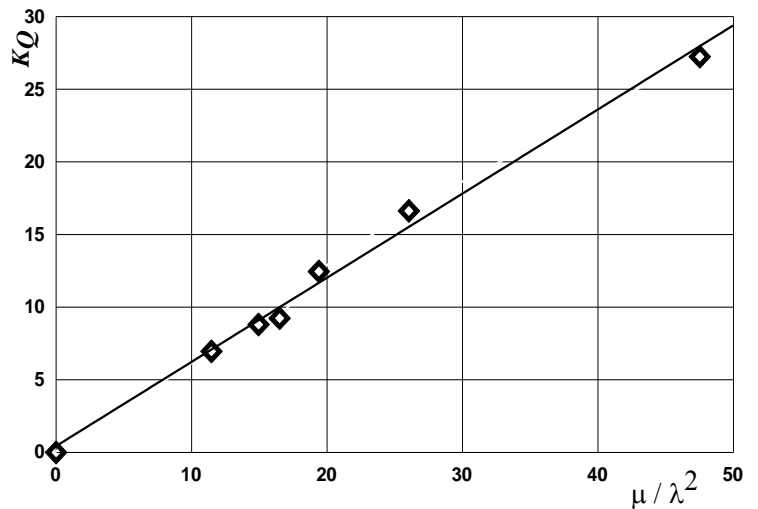
У роботі наведені дані отримані за результатами модельних випробувань РО ГТ типу РО-500 із прямоосною і вигнутою відсмоктуючими трубами. При заміні прямоосної труби на вигнуту відсмоктуючу трубу параметр оптимального режиму – $k_{Q \text{ опт}}$ лишається практично незмінним, тобто у полі параметрів $n_I - Q_I$ відбувається зсув оптимального режиму вздовж променя. Аналогічний результат має місце для осьових ГТ.

РК виконує основну роль у формуванні енергетичних характеристик, тому особливий інтерес представляє дослідження впливу його геометричних параметрів на параметри оптимального режиму. Внесення змін у геометрію лопаті приводить до зміни гідродинамічних параметрів її просторових решіток. Тому в дисертаційній роботі істотна увага приділена дослідженню впливу гідродинамічних параметрів просторових решіток РК на енергетичні характеристики.

Вплив геометрії вхідних елементів лопаті на положення оптимального режиму $k_{Q \text{ опт}}$ визначається, в основному, гідродинамічними параметрами k_{r1} й μ_m , що характеризують відповідно положення кромки в меридіональній проекції й розподіл кута безударного обтікання.

Результати розрахункових і експериментальних досліджень показують, що зміна вхідних елементів у досить широкому діапазоні практично не впливає на параметр $k_{Q \text{ опт}}$. Висновок про незначний вплив вхідної геометрії лопаті на параметр $k_{Q \text{ опт}}$ отримано з наближеного аналізу формули оптимального режиму

$$k_{Q \text{ опт}} = \frac{\mu - \mu_m(1 - \eta_{\text{опт}})}{\pi \left[\lambda^2 \left(1 - \frac{\eta_{\text{опт}}}{2} \right) + k_{r1} \left(\frac{\eta}{2} - \frac{1}{2\eta_{\text{опт}}} \right) \right]}. \quad (3)$$



Незначний вплив вхідних елементів лопаті на величину $k_{Q_{\text{опт}}}$, у порівнянні з вихідними, пояснюється тим, що співмножники при μ_m і k_{r1} в

(3) значно менші співмножників при μ і λ^2 , які визначають суттєвий вплив вихідної геометрії лопаті. При зростанні $\eta_{\text{опт}}$ коефіцієнти при μ_m і k_{r1} зменшуються. В області граничних значень гідравлічного ККД коефіцієнти μ_m і k_{r1} близькі нулю. У граничному випадку ($\eta_{\text{опт}} = 1$)

$$k_{Q_{\text{гран}}} = \frac{2\mu}{\pi\lambda^2}, \text{ досягається режим осьового виходу} \left(\frac{\overline{\Gamma_2 D}}{Q} \right)_{\text{гран}} = 0, \text{ що впливає з рівняння}$$

кінематичного зв'язку. На оптимальному режимі $\eta_{\text{опт}} \neq 1$, відповідно до рівняння кінематичного зв'язку, має місце розбіжність із режимом осьового виходу. Як показують експериментальні дані, оптимальний режим досягається при незначному позитивному закрученні потоку.

На рис. 3 представлені результати чисельного дослідження впливу геометрії вихідної частини лопаті на параметри оптимального режиму у широкому діапазоні швидкохідностей PO45 – PO500. Графік ілюструє закономірну зміну параметра $k_{Q_{\text{опт}}}$ у зв'язку зі зміною геометрії вихідної частини лопаті, обумовлену узагальненою гідродинамічною характеристикою $\frac{\mu}{\lambda^2}$.

При профілюванні ПЧ рядом геометричних параметрів РК задаються, виходячи з експериментальних даних. При такому підході до вибору геометричних параметрів не враховується їхній взаємозв'язок з гідродинамічними параметрами k , μ , Λ просторових решіток РК. Це приводить до розбіжності заданих параметрів оптимального режиму з дійсними параметрами.

Тому необхідною складовою частиною рішення задачі профілювання лопатевої системи РК є єднання оптимального режиму з дійсним у полі універсальної характеристики. Це досягається шляхом внесення змін у геометрію лопатевої системи.

Пропонується підхід до формування лопатевої системи РК, що забезпечує необхідні параметри оптимального режиму. Задача вирішується на основі узгодження геометричних кутів уздовж вхідних і вихідних кромки з їхнім розташуванням у меридіональній проекції. Питання погодженого вибору зазначених параметрів не отримало необхідної уваги в теорії розрахунку і аналізу лопатевих систем.

Приводиться алгоритм погодженого вибору положення вихідної кромки й розподілу геометричних кутів вздовж неї для забезпечення заданих параметрів оптимального режиму. Для густих решіток РК радіально-осьової ГТ потік на виході визначається геометрією вихідних елементів і режимом роботи, що дозволяє формувати геометрію вихідної частини лопаті незалежно від її вхідної частини.

Рис. 3 – Вплив узагальненого гідродинамічного параметра РК $\frac{\mu}{\lambda^2}$, на режимний параметр $k_{Q_{\text{опт}}}$

Кінематика потоку за РК складним чином залежить від вибору положення вихідної кромки та розподілу кутів вздовж неї. Задача формування вихідної геометрії лопаті вирішується шляхом багатоваріантного чисельного аналізу впливу її геометричних параметрів як на кінематичні характеристики потоку за РК, так і на параметри оптимального режиму.

При обраному положенні вихідної кромки закон розподілу геометричних кутів уздовж неї повинен забезпечити виконання інтегральної умови

$$k_{Q \text{ гран}} = \frac{\int_{l'_{em}}^{l'_n} r_2'^2 B_2'^2 \text{ctg} \beta_2^* \cos \delta_2 dl'_2}{16 \pi^2 \left(\int_{l'_{em}}^{l'_n} (r_2'^3 B_2' + 2r_2'^2 A_2' B_2' \text{ctg} \beta_2^*) \cos \delta_2 dl'_2 \right)^2},$$

де A_2' , B_2' залежать від розподілу геометричних параметрів вздовж вихідної кромки.

При виборі закону розподілу кутів слід урахувати результати дослідження структури потоку на оптимальному режимі. Для цього необхідно використовувати залежності, які визначають розподіл меридіональної швидкості і циркуляції, отримані вище. При переході до іншого положення вихідної кромки пошук закону розподілу кутів проводиться з урахуванням зазначених вище міркувань.

У роботі наведена методика формування вхідної геометрії лопаті РК, з умови її узгодження з потоком перед РК. Задача зводиться до визначення геометрії вхідних елементів лопаті (положення вхідної кромки й розподіл кутів вздовж неї) при заданій величині $k_{Q \text{ опт}}$.

При рішенні поставленої задачі визначаються інтегральні гідродинамічні параметри просторових решіток РК і НА за допомогою методів оптимізації. Оптимізаційна постановка задачі зводиться до знаходження гідродинамічних параметрів РК і НА k_{r1} , μ_m і $\frac{\Gamma_0 D}{Q}$, які максимізують

цільову функцію η_Γ при заданих значеннях режимних параметрів $Q_{I \text{ опт}}$ і $k_{Q \text{ опт}}$ та функціональних обмеженнях, що виражають умови енергетичного балансу. Задача пошуку значень параметрів μ_m , k_{r1} і $\frac{\Gamma_0 D}{Q}$, що забезпечують максимум цільової функції η_Γ , досягається за допомогою методів нелінійного програмування. У роботі використовувався метод штрафних функцій.

Геометричні параметри вхідної частини лопаті РК (положення вхідної кромки і розподіл кутів вздовж неї) повинні задовольняти інтегральним умовам:

$$k_{r1}^2 = \frac{\overline{r_1^2}}{R^2} = \frac{1}{Q} \int_Q \left(\frac{r_a}{R} \right)^2 dQ, \quad \mu_m = \frac{\text{ctg} \tilde{\beta}_{\delta_0} D}{\tilde{\Delta}_1} = \frac{D \int_Q q \text{ctg} \beta_{\delta_0} dQ}{Q^2},$$

де: β_{00} – кути безударного обтікання елементарних решіток.

По відомому розподілу параметрів потоку за НА по висоті на оптимальному відкритті $\left(\frac{\Gamma_0 D}{Q}\right)_{\text{опт}}$ (за результатами розрахункових або експериментальних даних) визначаються відносні кути потоку вздовж фіксованого положення вхідної кромки лопаті РК.

Погоджений вибір положення вхідної кромки та закону розподілу кутів вздовж неї, досягається на основі багатоваріантного чисельного аналізу. При цьому враховуються як розподіл ударних втрат в елементарних решітках, так і їх осереднена величина на оптимальному режимі.

Отримані результати щодо формування енергетичних характеристик і про вплив гідродинамічних параметрів просторових решіток на параметри оптимального режиму, слід використовувати як для забезпечення необхідних параметрів оптимального режиму при проектуванні ПЧ, так і при модифікації лопатевої системи з метою поліпшення енергетичних характеристик (підвищення потужності, рівня ККД, підвищення швидкохідності та ін.).

У **четвертому розділі** наведені результати розробки лопатевих систем радіально-осьових ГТ на конкретні параметри і дослідження їх гідродинамічних та енергетичних характеристик.

На основі моделювання гідродинамічних характеристик розроблено комплекс прикладних програм (КПП). КПП містить у собі алгоритми та програми для розрахунків і аналізу гідродинамічних характеристик лопатевих систем радіально-осьових гідротурбін.

Застосування КПП при проектуванні ПЧ дозволяє виконати чисельне дослідження впливу геометричних параметрів лопатевих систем на їхні гідродинамічні характеристики і енергетичні показники ГТ.

На кафедрі гідромашин НТУ «ХПІ» у рамках науково-технічного співробітництва із заводом «ВНЕС» була розроблена ПЧ високонапірної ГТ РО500 ($H_{\text{max}} = 500 \text{ м}$). За допомогою КПП спроектований ряд РК і отримані прогнозні енергетичні характеристики ГТ.

Розроблена модифікація РО 500/01-М2 забезпечує підвищення максимального ККД у зоні робочих режимів за рахунок узгодження гідродинамічних характеристик елементів ПЧ.

Співробітниками фірми ВНЕС виконаний розрахунок тривимірної течії в ПЧ гідротурбін РО 500 з робочими колесами РО-500/01, РО500/01-М2 з використанням комерційного програмного комплексу CFD - CFX TASCflow. Також на гідротурбінному стенді заводу важкого машинобудування ВНЕС були проведені комплексні дослідження моделей розроблених РК.

У табл. 1 наведено порівняння результатів розрахунку оптимального режиму отриманих за допомогою КПП, CFD - CFX Taskflow та даних, отриманих з експерименту.

Таблиця 1

Результати розрахункових та експериментальних даних параметрів оптимального режиму гідротурбін із РК РО 500/01 і РО 500/01-М2

Експеримент, розрахунки	Параметри оптимального режиму					
	РО 500/01			РО 500/ 01-М2		
	Q_1'	n_1'	η	Q_1'	n_1'	η

	<i>л/с</i>	<i>об/хв</i>		<i>л/с</i>	<i>об/хв</i>	
Розрахунки із застосуванням КПП	220,4	62,36	92,3*	222,4	62,15	93,5*
Випробування моделі (VHEL)	225,5	64,4	91,7	228,7	64,4	91,8
Розрахунки по CFD (VHEL)	225,5	64,4	91,7	213,3	65,1	91,9**

Примітка: * – з урахуванням дискових втрат

** – тільки гідравлічний ККД (без обліку втрат у спіральній камері)

Розрахункові характеристики РК РО-500/01, РО500/01-М2, отримані з використанням КПП добре узгоджуються з експериментальними даними та з даними розрахунку тривимірної течії, що дозволяє обґрунтовано застосовувати запропоновану методику розрахунку та аналізу гідродинамічних характеристик лопатевих систем і розроблений на її основі КПП для проектування РК радіально-осьових ГТ.

ВИСНОВКИ:

Дисертаційна робота присвячена вирішено науково-практичної задачі удосконалення проточних частин радіально-осьових гідротурбін на основі розрахунків, аналізу та узгодження гідродинамічних характеристик її елементів .

Основні результати і висновки:

1. Проведений інформаційно-аналітичний огляд показав актуальність розробки методики розрахунку, аналізу та узгодження гідродинамічних характеристик лопатевих систем гідротурбіни для удосконалювання проектування проточної частини гідротурбіни.

2. На основі кінематичного опису потоку, заснованого на спільному використанні інтегральних параметрів потоку в розрахункових перерізах проточної частини і моделі просторового потоку в області робочого колеса, отримані залежності для розрахунків осереднених та розподілених кінематичних характеристик робочого колеса.

3. Отримані аналітичні залежності, що встановлюють вплив геометричних і режимних параметрів робочого колеса на розподіл параметрів потоку вздовж вихідної кромки робочого колеса. Ці залежності необхідні для аналізу узгодження робочого колеса із відводом гідротурбіни.

4. Пропонується перспективний підхід до узгодженого вибору геометричних кутів вздовж вхідних і вихідних кромки з їхнім розташуванням у меридіональній проекції. Показана необхідність такого підходу для забезпечення заданих параметрів оптимального режиму при проектуванні проточної частини.

5. Запропонована методика розрахунку і аналізу гідродинамічних характеристик окремих решіток робочого колеса, що дозволяє зробити оцінку їх впливу на енергетичні якості робочого

колеса. Розроблена методика дає можливість установити ступінь узгодженості окремих решіток, що формують просторову решітку робочого колеса.

6. Проведена систематизація та узагальнення розрахункових і експериментальних даних розподілених та осереднених гідродинамічних характеристик напрямного апарата в широкому діапазоні швидкохідності. Ці дані використовуються при профілюванні лопатевої системи робочого колеса для узгодження потоку формованого підводом з вхідної геометрією лопаті.

7. Приводиться постановка і вирішення оптимізаційної задачі для визначення гідродинамічних параметрів просторових решіток робочого колеса, що забезпечують максимум гідравлічного ККД при заданих параметрах оптимального режиму. Результати вирішення оптимізаційної задачі необхідні для узгодженого вибору геометричних параметрів робочого колеса.

8. На підставі проведених досліджень розроблений комплекс прикладних програм для проектування робочого колеса і прогнозування його гідродинамічних характеристик. Застосування цього комплексу дозволяє забезпечити краще узгодження розрахункових параметрів оптимального режиму із заданими.

9. Розроблена модифікація РО500/01-М2, яка забезпечує підвищення максимального ККД за рахунок узгодженого вибору положення вихідної кромки з розподілом геометричних кутів вздовж неї.

10. Результати дисертаційної роботи впроваджені при проектуванні високоефективної проточної частини ГЕС Індії та у навчальному процесі НТУ «ХПІ».

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Тыньянова И. И. Моделирование кинематических характеристик потока в радиально-осевой гидротурбине при проектировании ее проточной части. / В. А. Колычев, В.Э. Дранковский, К. А. Миронов, И. И. Тыньянова // Вісник СумДУ, Вип. 13(59), Суми, 2003 – С. 124-131

Здобувач приймала участь у моделюванні кінематичних характеристик потоку у РО ГТ.

2. Тыньянова И. И. Применение упрощенной модели рабочего процесса для расчета и анализа энергетических характеристик высоконапорной радиально-осевой гидротурбины / В. А. Колычев, К. А. Миронов, И. И. Тыньянова // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ», 2004. – № 11. – С. 109–120.

Здобувач розрахувала і виконала аналіз енергетичних характеристик високонапірної радіально-осьової гідротурбіни, на основі спрощеної моделі робочого процесу.

3. Тыньянова И. И. Разработка рабочих колес радиально-осевых высоконапорных гидротурбин РО500 на основе численного эксперимента (CAD). / Барлит В.В., Бородаевский В.В., Колычев В.А., Миронов К.А., Тыньянова И.И. // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ», 2003. – № 9, т.2 – С. 17-24.

Здобувач розрахувала і виконала аналіз енергетичних характеристик високонапірної радіально-осьової гідротурбіни, а також розрахувала і побудувала прогнозу універсальну характеристику.

4. Тыньянова И. И. Применение безразмерных параметров для анализа рабочего процесса гидротурбин / В. А. Колычев, И. И. Тыньянова, К. А. Миронов // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2005. – № 28. – С. 79–88.

Здобувач використовувала безрозмірні параметри для аналізу робочого процесу гідротурбіни у широкому діапазоні зміни напорів.

5. Тыньянова И. И. Расчет и анализ баланса потерь энергии в высоконапорной радиально-осевой гидравлической турбине / В. А. Колычев, К. А. Миронов, И. И. Тыньянова // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2005. – № 1/2 (13). – С. 95–106.

Здобувач запропонувала методику розрахунку і аналізу балансу втрат енергії у радіально-осьових гідротурбінах, а також провела розрахункове дослідження балансу втрат енергії у високонапірної радіально-осьовій гідротурбіні

6. Тыньянова И. И. Общие закономерности рабочего процесса и их применение для расчета и анализа энергетических характеристик гидротурбин / В. А. Колычев, К. А. Миронов, И. И. Тыньянова // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2006. – № 4/3 (22). – С. 54–64.

Використовуючи загальні кінематичні властивості просторових решіток, а також загальні закономірності взаємодії потоку рідини із робочим колесом, здобувач проаналізувала формування енергетичних характеристик ГТ у широкому діапазоні зміни швидкохідності.

7. Тыньянова И. И. Модификация геометрии рабочего колеса РО 500 на основании расчетных данных CFD / К. А. Миронов, И. И. Тыньянова // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків, 2006. – № 4. – С. 90–95.

Здобувач брала участь у розробці комплексу прикладних програм для проектування робочого колеса радіально-осьової гідротурбіни.

8. Тыньянова И. И. Согласование элементов проточной части при проектировании радиально-осевых гидротурбин / В.А. Колычев, И. И. Тыньянова, К.А. Миронов // Проблеми машинобудування. – Харків, 2009. – т. 12. – № 5 С 3-10

Здобувач запропонувала новий підхід до узгодження елементів проточної частини радіально-осьової гідротурбіни на задані параметри оптимального режиму

9. Тыньянова И. И. Моделирование энергетических характеристик гидротурбин на начальном этапе проектирования/ В. А. Колычев, И. И. Тыньянова, К. А. Миронов// Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2010. – № 1/6 (43). – С. 27–38

Здобувач брала участь у розробці методики моделювання енергетичних характеристик радіально-осьової гідротурбіни у широкому діапазоні швидкохідності, а також вирішувала завдання модифікування лопатевої системи на основі багатоваріантного аналізу робочого процесу.

10. Тыньянова И. И. Гидродинамические характеристики элементов проточной части и их влияние на энергетические показатели радиально-осевой гидротурбины / В. А. Колычев, И. И. Тыньянова, К. А. Миронов // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2010. – № 4/7 (46). – С.3 – 15

Здобувач визначала гідродинамічні характеристики елементів проточної частини, установлювала їхній вплив на формування енергетичних характеристик радіально-осьової гідротурбіни.

АНОТАЦІЇ

Тиньянова І.І. Удосконалення проточної частини радіально-осьової гідротурбіни на основі моделювання гідродинамічних характеристик лопатевих систем. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2012.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-практичної задачі – удосконалюванню проточної частини радіально-осьової гідротурбіни на основі моделювання гідродинамічних характеристик елементів проточної частини радіально-осьової гідротурбіни.

Розроблена методика розрахунку і аналізу гідродинамічних характеристик лопатевих систем, яка дозволяє оцінювати гідродинамічні якості лопатевої системи робочого колеса у процесі її профілювання.

Отримані аналітичні залежності, що встановлюють вплив геометричних і режимних параметрів на розподіл параметрів потоку за робочим колесом, які необхідні для аналізу узгодження робочого колеса з відводом гідротурбіни.

Показано застосування розроблених методик розрахунків, аналізу гідродинамічних характеристик елементів проточної частини при розробці високонапірних радіально-осьових гідротурбін.

На основі досліджень розроблено комплекс прикладних програм, який був використаний при розробці проточної частини гідротурбіни PO500 для однієї з ГЕС (Індія). Розроблені робочі колеса PO500/01, PO500/01-M2 радіально-осьової гідротурбіни PO500 ($H_{\max} = 500 \text{ м}$) і отримані прогнозні енергетичні характеристики гідротурбіни. Модифіковане робоче колесо PO500/01-M2 забезпечує підвищення максимального ККД за рахунок узгодженого вибору положення вихідної кромки з розподілом геометричних кутів вздовж неї.

Наведені результати розрахунків тривимірної течії в проточній частині гідротурбіни PO 500 при використанні комерційного програмного комплексу CFD – CFX TASCflow. Також представлені результати досліджень на гідротурбінному стенді заводу важкого машинобудування VHEL (м. Бхопал, Індія) моделі проточної частини радіально-осьової гідротурбіни. Порівняння розрахункових прогнозних показників з експериментальними даними та даними розрахунків тривимірної течії показує задовільний збіг результатів.

Ключові слова: радіально-осьова гідротурбіна, проточна частина, робоче колесо, гідродинамічні характеристики, геометричні та режимні параметри, енергетичні показники.

Тыньянова И.И. Совершенствование проточной части радиально-осевой гидротурбины на основе моделирования гидродинамических характеристик лопатных систем. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.17 – гидравлические машины и гидропневмоагрегаты. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2012.

Диссертационная работа посвящена решению научно-практической задачи совершенствованию проточных частей радиально-осевой гидротурбины на основе расчета, анализа и согласования гидродинамических характеристик элементов проточной части радиально-осевой гидротурбины.

В диссертации приведен анализ литературных источников посвященных теоретическому и экспериментальному исследованию гидродинамических характеристик элементов проточной части радиально-осевой гидротурбины. Показано, что анализ и исследование гидродинамических характеристик лопастных систем в связи с их влиянием на формирование энергетических и кавитационных показателей гидротурбины является актуальной задачей. Показана необходимость учета общих закономерностей формирования гидродинамических характеристик в связи с изменением геометрических и режимных параметров.

Проведена систематизация и обобщение расчетных и опытных данных распределенных и осредненных гидродинамических характеристик направляющего аппарата в широком диапазоне изменения быстроходности. Эти данные необходимы при профилировании лопастной системы рабочего колеса для согласования потока формируемого подводными органами с геометрией входной части лопасти.

Разработана методика расчета и анализа гидродинамических характеристик лопастных систем, базирующаяся на совместном использовании модели осредненного закрученного потока и упрощенной модели пространственного потока в безлопастных участках проточного тракта. Методика позволяет на стадии выбора геометрических параметров производить оценку гидродинамических качеств лопастной системы рабочего колеса в процессе ее профилирования.

Получены аналитические зависимости, устанавливающие влияние геометрических и режимных параметров на распределение параметров потока вдоль выходной кромки рабочего колеса, необходимы для анализа согласования рабочего колеса с отводящими органами гидротурбины.

Установлена структурная зависимость коэффициента потерь рабочего колеса, от режимных и гидродинамических параметров пространственной решетки рабочего колеса, оказывающая основное влияние на формирование оптимального режима и вид кривых КПД при отходе от него. Для определения параметров зависимости коэффициента потерь решалась задача параметрической идентификации.

Приведены результаты исследования влияния геометрических параметров элементов проточной части на их гидродинамические характеристики и на режимные и энергетические параметры радиально-осевой гидротурбины. Представлены результаты исследования влияния геометрии направляющего аппарата и рабочего колеса на гидродинамические характеристики. Наряду с этим анализируется влияние геометрии подводных и отводящих органов на параметры оптимального режима.

Приводится постановка и решение оптимизационной задачи для определения гидродинамических параметров пространственной решетки рабочего колеса, обеспечивающих максимум гидравлического КПД при заданных параметрах оптимального режима.

Предлагается подход к формированию лопастной системы рабочего колеса, обеспечивающий требуемые параметры оптимального режима.

Показано применение разработанных методик расчета, анализа и согласования элементов проточной части при разработке высоконапорных радиально-осевых гидротурбин. На основании исследований разработан комплекс прикладных программ, который был использован при разработке проточной части гидротурбины PO500 для ГЭС (Индия). Разработана модификация рабочего колеса PO500/01-M2, которая обеспечивает повышение максимального КПД в зоне рабочих режимов за счет согласованного выбора положения выходной кромки с распределением геометрических углов вдоль нее.

Ключевые слова: радиально-осевая гидротурбина, проточная часть, рабочее колесо, гидродинамические характеристики, геометрические и режимные параметры, энергетические показатели.

Tinyanova I.I. Improvement of flow space Francis turbines on the basis of design of hydrodynamic characteristics of the blade systems. – Manuscript.

The thesis for receiving candidate degree of technical sciences of a specialty 05.05.17 – Hydraulic Machines and Pneumatic Units. – National Technical University the «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, 2012.

Dissertation work is devoted the decision of sciences-practical task – perfection of flow space Francis turbines on the basis of design of hydrodynamic characteristics of elements of Francis turbines Francis turbines.

Worked out methodology of calculation and analysis of hydrodynamic characteristics of the blade systems, that allows estimating the hydrodynamic internals of the blade system of runners in the process of her profiling.

Analytical dependences, which set influence of geometrical and regime parameters of runners on distribution of parameters of stream after a runners, what necessary for an analysis concordances of runners with taking of hydroturbine, are got.

The shown application of the worked out methods of calculations, analysis of hydrodynamic characteristics of elements of flow space is at development of high-head Francis turbines.

On the basis of researches the developed program package, which was used for development of flow space of Francis turbine for one of HPS (India). The runners of Fr00/01, Fr500/01-M2 are developed and prediction performances of hydroturbine are got. Modified runners of Fr500/01-M2, provides with decreased energy loss due to the concerted choice of position of initial edge with distribution of geometrical corners along it.

The brought results over of calculations of three-dimensional flow at the flow space Francis turbine at drawing on a viscous three-dimensional turbulent flow code (CFD - CFX TASCflow). Results of researches on the hydrodynamic stand of plant of heavy engineering of BHEL (India) for the Francis turbine are presented. Comparing of calculation prediction indexes to experimental data and data of calculations of three-dimensional flow shows the satisfactory coincidence of results.

Keywords: Francis turbine, flow space, runner, hydrodynamic characteristics, geometrical and regime parameters.



Підписано до друку 26.12.2011 р. Формат 60x84¹/₁₆.
Папір офсетний. Друк - різнографія. Умовн. друк. арк. 0,9.
Гарнітура Times New Roman. Наклад 100 прим. Зам. № 000000

Надруковано у СПДФО Ізрайлев Є.М.
Свідоцтво № 2 480 017 0000 040432 від 21.03.2001 р.
61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 16.