

ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Дранковський Віктор Едуардович

УДК 621.224

**МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ТА РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ НА
ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ РАДІАЛЬНО-ОСЬОВОЇ ГІДРОТУРБИНИ ПІД ЧАС
ПРОЕКТУВАННЯ ЇЇ ПРОТОЧНОЇ ЧАСТИНИ**

Спеціальність 05.05.17 – Гідравлічні машини та гідропневмоагрегати

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2000

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі гідравлічних машин Харківського державного політехнічного університету Міністерства освіти та науки України.

Науковий керівник

кандидат технічних наук, доцент
Количев Владислав Олександрович,
Харківський державний політехнічний університет,
професор кафедри гідравлічних машин.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Косторний Сергій Дмитрович,
Сумський державний аграрний університет,
професор кафедри математики і фізики, м. Суми;

кандидат технічних наук, доцент
Євтушенко Анатолій Олександрович,
Сумський державний університет,
завідувач кафедри прикладної

гідроаеромеханіки,

м. Суми.

Провідна установа – Інститут проблем машинобудування імені А.М. Підгорного НАН
України, м. Харків.

Захист відбудеться " 21 " грудня 2000 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради
Д64.050.11 у Харківському державному політехнічному університеті за адресою: 61002, м.
Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського державного політехнічного
університету.

Автореферат розісланий " 18 " листопада 2000 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
Потетенко О.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Найважливішою задачею енергетичної програми України є підвищення техніко-економічних показників гідротурбінного устаткування ГЕС, що заново будуються і модернізуються. Модернізація і реконструкція гідроенергетичного устаткування є одним з основних напрямків перспективного розвитку гідроенергетики. Удосконалювання проточних частин (ПЧ) гідротурбін ГЕС, що заново будуються і модернізуються, здійснюється методами фізичного і математичного моделювання. Найважливішим етапом гідродинамічної розробки ПЧ є проведення багатоваріантного аналізу, мета якого полягає в дослідженні енергетичних показників при змінній геометричних і режимних параметрів ПЧ гідротурбіни. Результати такого аналізу необхідні для прийняття рішення по вибору найкращих варіантів, що задовольняють

умовам технічного завдання. Організація цілеспрямованого пошуку геометричних і режимних параметрів, що забезпечують потрібні показники, є вельми складною і актуальною задачею. Для її рішення необхідно розробити методіку моделювання впливу геометричних і режимних параметрів на енергетичні характеристики радіально-осьових (РО) гідротурбін.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у відповідності з координаційним планом цільової комплексної програми Міністерства освіти України по держбюджетним темам М2902 “Створення гідродинамічних методів розрахунку і дослідження робочого процесу, розробка робочих коліс і проточних частин конкурентноспроможних гідротурбін для забезпечення експортних замовлень, а також економічно й екологічно обґрунтованих об'єктів України” (1993-1996) і М2904 “Математичне моделювання робочого процесу гідротурбін з метою розробки нових зразків для України (включаючи реконструкцію ГЕС і малу гідроенергетику) і на експорт” (1997-1999).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є встановлення залежностей, що відображають змінення гідродинамічних і енергетичних характеристик РО гідротурбін при зміні геометричних і режимних параметрів і використання цих закономірностей для удосконалювання ПЧ у процесі проектування.

Відповідно до цієї мети були поставлені задачі:

- розробити математичні моделі (ММ), що описують поведінку енергетичних показників гідротурбіни в необхідному діапазоні змінення геометричних і режимних параметрів;
- розробити методіку чисельного моделювання, яка забезпечує можливість ефективного пошуку цілеспрямованих змінень, що вносяться у геометрію робочих органів для удосконалювання показників проєктованих гідротурбін;
- розробити алгоритми і програми, що реалізують методіку стосовно до РО гідротурбін у діапазоні швидкохідностей $n_s=90 - 250$;
- проаналізувати і установити вплив геометричних параметрів ПЧ гідротурбіни на формування її основних енергетичних характеристик.

Об'єкт дослідження – процес енергетичної взаємодії потоку рідини з робочими органами гідротурбіни.

Предмет дослідження – функціональні залежності між енергетичними, геометричними і режимними параметрами ПЧ гідротурбіни.

Методи дослідження. У роботі застосовуються методи фізичного і математичного моделювання робочого процесу гідротурбіни. При побудові ММ енергетичної взаємодії лопатевих систем із потоком використаний блочно-ієрархічний підхід, заснований на принципах системного аналізу. Відповідно до цього підходу ММ робочого процесу описується у виді багаторівневої системи взаємозалежних між собою моделей різного рівня. При цьому кожний ієрархічний рівень характеризується різним ступенем деталізації математичного опису і своїм підходом при рішенні конкретних задач.

Наукова новизна одержаних результатів дисертаційної роботи полягає в наступному:

- розроблена ММ енергетичної взаємодії потоку з робочими органами гідротурбіни, що враховує вплив підвідних елементів ПЧ на енергетичні характеристики високонапірних РО гідротурбін;
- отримані аналітичні залежності, що встановлюють взаємозв'язок гідравлічного ККД і коефіцієнтів опорів окремих видів втрат із геометрією ПЧ і приведеними режимними параметрами в широкому діапазоні швидкохідностей;

— розроблена методика чисельного моделювання впливу геометричних параметрів ПЧ на енергетичні показники РО гідротурбін;
— встановлені закономірності, що відображають вплив геометричних параметрів на енергетичні показники гідротурбіни.

Практичне значення одержаних результатів роботи полягає в тому, що:

— отримані графіки, що відображають в узагальненому вигляді вплив спіральної камери і напрямного апарата (НА) на його характеристику опору. Ці графіки можуть бути використані для вибору основних геометричних параметрів під час проектування ПЧ високонапірних гідротурбін;

— дана методика проведення чисельного експерименту, що дозволяє проводити цілеспрямований пошук поліпшених варіантів ПЧ у відповідності з вимогами, що пред'являються до енергетичних показників гідротурбін;

— результати дисертаційної роботи впроваджені у ВАТ “Турбоатом” при розробці проточної частини міні-ГЕС на напори $H = 60 - 100$ м.

Особистий внесок здобувача. Автор брав участь у розробці моделей опору ПЧ [7,10,11,14], розробив математичну модель опору підвідної частини РО гідротурбіни, алгоритм і програму розрахунку [4,8], одержав залежності параметрів оптимального режиму [1,2,5]. На основі уточненого ним математичного опису робочого процесу провів чисельне дослідження впливу геометричних і режимних параметрів на енергетичні характеристики гідротурбін [3,6,9.12,13].

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати досліджень по дисертаційній темі доповідались і обговорювалися на: міжнародній науково-технічній конференції “Удосконалювання турбоустановок методами математичного і фізичного моделювання”, Зміїв, 1994; міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми ресурсо- і природозбереження в енергетиці”, Харків: Харківський державний політехнічний університет, 1994; 1-ій міжнародній конференції “Чисельні методи в гідравліці і гідродинаміці” Донецьк: ДонДУ, 1994; міжнародній науково-технічній конференції “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я”, Харків, Мішкольц: ХДПУ, МУ, - 1995; міжнародній науково-технічній конференції “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я”, Харків, Мішкольц, Магдебург: ХДПУ, МУ, МТУ, - 1996; міжнародній науково-технічній конференції “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я”, Харків, Мішкольц, Магдебург: Харк. держ. політехн. ун-т, Мішкольц. ун-т, Магдебург. ун-т,- 1997; міжнародній науково-технічній конференції “Удосконалювання турбоустановок методами математичного і фізичного моделювання”, Харків, 1997; щорічних наукових конференціях викладачів, співробітників і аспірантів ХДПУ, Харків, 1997-2000.

Публікації. По темі дисертаційної роботи опубліковано 14 друкованих праць, з них 6 статей у фахових виданнях, 8 – в матеріалах конференцій (2 – доповіді та 6 – тези доповідей).

Структура дисертації. Робота складається з вступу, п'яти глав основного тексту, висновків та додатків. Повний обсяг дисертації – 225 сторінок; 57 ілюстрацій (з яких 45 розміщено на 34 окремих сторінках); 5 таблиць; додатки займають 2 сторінки; список використаних літературних джерел - 134 найменування на 15 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У вступі розглянуті питання фізичного і математичного моделювання енергетичних показників гідротурбін у зв'язку з необхідністю подальшого удосконалювання їхніх енергетичних якостей для ГЕС, що модернізуються та проектуються. Дано обґрунтування актуальності теми, визначені ціль і задачі дослідження, відзначені

наукова новизна і практична цінність, дана загальна характеристика роботи.

У першому розділі виконаний огляд сучасного стану питання про методи експериментального і чисельного дослідження впливу геометричних параметрів ПЧ на кінематичні й енергетичні характеристики гідротурбіни. Одним з основних методів удосконалювання енергетичних якостей гідротурбіни є внесення змін у геометрію ПЧ із наступною розрахунковою оцінкою енергетичних і кавітаційних якостей.

Відзначається, що вітчизняне і світове гідротурбобудування накопичило достатньо великий об'єм досвідного матеріалу про вплив геометричних параметрів для гідротурбін різної швидкохідності. У роботах Михайлова І.Є., Климова А.І., Нікітіна І.М., Федулова Ю.І., Яньшиної І.Г. і ін. приведені експериментальні дані про характеристики підвідних елементів гідротурбін. Встановленню загальних закономірностей втрат енергії у відсмоктуючих трубах присвячені роботи Губіна М.Ф., Волшаника В.В., Подвідза Л.Г., Бутаєва Д.А. Дослідження впливу геометричних параметрів просторової решітки робочого колеса (РК) на енергетичні показники гідротурбіни приведені в роботах Колтона О.Ю., Етінберга І.Е., Гутовського Є.В. і ін. Дані про вплив геометричних параметрів ПЧ на енергетичні якості гідротурбіни отримані на підставі численних досліджень, як на енергетичних стендах, так і на спеціальних установках.

Відзначається, що за допомогою експериментальних досліджень оцінюється вплив геометричних параметрів ПЧ на показники гідротурбіни в цілому, без розкриття механізму впливу цих параметрів на окремі види втрат.

Розвиток методів математичного моделювання розширив можливості аналізу впливу геометричних параметрів на кінематичні й енергетичні характеристики. У роботі приведений огляд сучасних методів розрахунку кінематичних та енергетичних характеристик гідротурбін на основі різних моделей течії. Відзначається, що в даний час у практиці гідродинамічних розрахунків ПЧ застосовуються методи, засновані на одномірних, двовимірних і тривимірних моделях течії рідини. У роботах І.Е. Етінберга, Б.С. Раухмана, Г.І. Топажа, О.В. Гольдіна, В.І. Клімовича, Г.М. Моргунова, R. Schilling, S. Riedelbauch, H. Keck, B. Lakshminarayana показане застосування квазітривимірних і тривимірних моделей для розрахунку енергетичних показників гідротурбін. Поряд із використанням просторових методів розрахунку при розробці ПЧ використовуються спрощені моделі течії. У роботах Пильова І.М., Топажа Г.І., Количева В.О. і ін. приводяться дані з розрахунку енергетичних характеристик гідротурбін засновані на застосуванні осереднених параметрів потоку. У роботах Количева В.О. для розрахунку енергетичних характеристик і моделювання впливу геометричних і режимних параметрів запропонований опис робочого процесу, у відповідності з блочно-ієрархічним підходом, як система взаємопов'язаних між собою моделей різного рівня. У рамках цього підходу досліджуються питання розрахунку й аналізу енергетичних показників на різних стадіях проектування.

Проведений критичний аналіз робіт показує доцільність використання різних моделей робочого процесу при розробці ПЧ. У роботі вказується актуальність і перспективність розробки ММ робочого процесу, заснованих на тривимірних моделях в'язкого потоку в елементах ПЧ гідротурбін. Відзначається, що через велику кількість незалежних змінних неможливо одержати аналітичні залежності, що зв'язують кінематичні й енергетичні показники ПЧ з геометричними і режимними параметрами. Проведений аналіз робіт показує, що питання впливу геометричних і режимних параметрів на енергетичні характеристики гідротурбін досліджені недостатньо повно. Відсутні систематизовані дані про вплив геометричних параметрів підвідної частини високонапірної гідротурбіни на її енергетичні характеристики.

У роботі досліджуються енергетичні характеристики РО гідротурбін на основі комплексу взаємозалежних ММ енергетичної взаємодії потоку з РК. Ставиться і вирішується задача установаження взаємозв'язків геометричних, кінематичних і енергетичних параметрів гідротурбіни.

В другому розділі викладений математичний опис робочого процесу гідротурбіни, призначений для чисельного дослідження впливу геометричних і режимних параметрів на енергетичні показники гідротурбін і застосування оптимізаційних методів під час проектування ПЧ.

Для чисельного дослідження впливу геометричних параметрів на енергетичні характеристики гідротурбіни використаний багаторівневий опис робочого процесу, побудований у відповідності з принципами блочно-ієрархічного підходу, у вигляді системи взаємозалежних математичних моделей.

Переваги багаторівневого опису робочого процесу гідротурбіни виявляються в можливості:

- чисельного моделювання гідродинамічних та енергетичних характеристик проточної частини гідротурбіни на різних рівнях у відповідності зі стадією розробки проекту;
- систематичного, по мірі накопичення досвідних і розрахункових даних, удосконалювання опису окремих елементів без переробки всієї ММ робочого процесу в цілому.

Загальна структура математичного опису робочого процесу встановлювалася за допомогою основного рівняння гідротурбіни і рівняння балансу енергії, записаних у безрозмірній формі:

$$\eta_T = \frac{k_{H_T} Q_I'^2}{g} ; \quad (1)$$

$$\frac{g}{Q_I'^2} = k_{H_T} + k_h \quad (2)$$

Гідравлічна потужність і ККД гідротурбіни визначалися по таких залежностях:

$$N_I' = \rho g \sqrt{\frac{g}{K_{H_T} + K_h} \frac{K_{H_T}}{K_{H_T} + K_h}} ; \quad (3)$$

$$\eta = \eta_T \eta_o \eta_d \quad (4)$$

На підставі теорії розмірності коефіцієнт теоретичного напору і коефіцієнт опору ПЧ можуть бути подані в такому вигляді:

$$k_{H_T} = k_{H_T} \left(\frac{\bar{\Gamma}_1 D}{Q}, \frac{\omega D^3}{Q}, L'_{pk} \right) ;$$

коефіцієнт теоретичного напору –

$$k_h = k_{h_n} + k_{h_{pk+om}} ,$$

коефіцієнт опору робочих органів –

$$k_{h_n} = f_1 \left(\frac{\Gamma_{cn} D}{Q}, \frac{\Gamma_0 D}{Q}, L'_n \right)$$

де – коефіцієнт опору підводу;

$$k_{h_{pk+om}} = \frac{gh_{pk+om} D^4}{Q^2} = f_2 \left(\frac{\Gamma_1 D}{Q}, \frac{\omega D^3}{Q}, L'_{pk+om} \right) \text{ – коефіцієнт опору РК і}$$

відсмоктуючої труби.

Для розкриття залежностей k_{HT} і k_{h_i} використовується кінематичний опис потоку в ПЧ, побудований на блочно-ієрархічному принципі. У рамках такого опису зміна структури потоку зі зміною режиму враховується за допомогою комплексу взаємозалежних моделей різного рівня:

— спрощеної моделі осередненого осесиметричного руху, що приблизно враховує зміщення поверхонь току в порожнині РК;

— моделі течії в решітках на поверхнях току без урахування їхнього зміщення зі зміною режиму;

— опису потоку за допомогою безрозмірних осереднених параметрів.

На основі цього кінематичного опису отримані розгорнуті вираження коефіцієнтів теоретичного напору й опорів, виходячи з відомої схеми розподілення втрат енергії в елементах ПЧ, запропонованих у роботах Степанова Г.Ю., Етінберга І.Е., Раухмана Б.С., Топажа Г.І., Дейча М.Є., Зарянкіна А.Є., Мітрохіна В.Т.

У третьому розділі викладені результати чисельного і досвідного моделювання впливу геометричних параметрів підвідної частини гідротурбіни на її гідродинамічні характеристики. Чисельні дослідження проводилися на основі розробленої ММ опору підвідної частини – залежності коефіцієнта опору від геометричних параметрів і осередненого кута потоку в перерізі за НА. При побудові моделі опору використовувалися результати досвідних даних про кінематичні характеристики потоку в характерних перерізах ПЧ гідротурбін з швидкохідністями $n_s = 90-250$.

Осереднені кінематичні характеристики потоку визначалися за результатами як внутрішньопотокових вимірів, так і з використанням вимірювальної решітки, встановленої замість РК. Втрати енергії в елементах підводу визначалися за даними вимірів кінематичних параметрів потоку в характерних перерізах підвідної частини гідротурбін (рис.1).

$$K_{h_{HA}} = f\left(\frac{\Gamma_0 D}{Q}, \frac{\Gamma_{cn} D}{Q}, L'_{HA}\right) -$$

Для побудови моделі опору НА – залежності використовувалося подання повної величини втрат енергії у вигляді суми втрат: тертя, кромкових, ударних, вторинних

$$h_{HA} = \frac{1}{Q} \int_Q \xi_{mp} \frac{C_{2m}^2}{\sin^2 \alpha_2} dQ + \frac{1}{Q} \int_Q \xi_{kp} \frac{C_{2m}^2}{2g \sin^2 \alpha_2} dQ + \frac{1}{Q} \int_Q \xi_{y\delta} \frac{C_{2m}^2}{2g \sin^2 \alpha_2} dQ + \xi_k \frac{\tilde{C}_{2m}^2}{2g \sin^2 \alpha_2}. \quad (5)$$

За допомогою подання кожної із функцій, що входять у підінтегральні вирази у вигляді суми, осередненої по витраті і пульсаційній величині, а також правил лінійного осереднення, вираз (5) приведено до виду:

$$\bar{h}_{HA} = \xi_{mp} \frac{\tilde{C}_2^2}{2g} + \xi_{kp} \frac{\tilde{C}_2^2}{2g} + \xi_{y\delta} \frac{\tilde{C}_2^2}{2g} + \xi_{kc} \frac{\tilde{C}_2^2}{2g}. \quad (6)$$

Коефіцієнт опору НА від геометричних і кінематичних параметрів визначався по

$$k_{h_{HA}} = \frac{g \bar{h}_{HA} D^4}{Q^2}.$$

залежності:

Аналогічний підхід використовувався для запису виразу коефіцієнта втрат у

статорній решітці. Коефіцієнт опору спіральної камери оцінювався по досвідним даним для гідротурбін близької швидкохідності.

Коефіцієнт опору підвідної частини отриманий підсумовуванням коефіцієнтів опорів спіральної камери, статора, напрямного апарата:

$$k_{h \text{ підвова}} = \frac{\xi_{cn}}{2F_{\text{ex}}'^2} + \frac{1}{8\pi^2 \left(\frac{b_{cm}}{D}\right)^2 \left(\frac{r_{2cm}}{D}\right)^2 \sin^2 \alpha_{2cm}} \left[\frac{2CI_{cm} l_{cm}}{t_{2cm} \sin \alpha_{2cm}} + \frac{2t_{2cm} \sin \alpha_{2cm}}{b_{cm}} \right] + \frac{0,2\Delta_{kp.cm}}{t_{2cm} \sin \alpha_{2cm}} + \frac{1}{8\pi^2 \left(\frac{r_{2HA}}{D}\right)^2 \left(\frac{b_{HA}}{D}\right)^2 \sin^2 \alpha_{2HA}} \left\{ \frac{2CI_{HA} l_{HA}}{t_{2HA} \sin \alpha_{2HA}} + \frac{0,2\Delta_{kp.HA}}{t_{2HA} \sin \alpha_{2HA}} + \frac{0,13l_{HA}}{Re_{HA}^{0,2} b_{HA}} \left(1 - \frac{l_{HA}}{r_{1HA}}\right)^{0,8} \left[1 + 0,7 \left(1 - \frac{ctg \alpha_{cn}}{ctg \alpha_{2HA}}\right)^2 \left(\frac{t_{2HA}}{l_{HA}}\right)^2 \cos^2 \alpha_{2HA} \right] + \chi \frac{ctg \alpha_{cng} - ctg \alpha_{b.o.HA} \frac{r_{2HA}^2}{r_{1HA}^2} \sin^2 \alpha_{2HA}}{r_{1HA}^2} \right\}$$

(7)

Вираз (7) являє собою ММ опору підводу гідротурбіни. Ця модель описує залежність коефіцієнта опору підводу від геометричних параметрів і осереднених кутів потоку,

утворюваних спіральною камерою $\tilde{\alpha}_{cn}$ і напрямним апаратом $\tilde{\alpha}_{2HA}$.

Розрахунки коефіцієнтів опорів підвідної частини по залежності (7) добре узгоджуються з досвідними даними, отриманими на кафедрі гідромашин ХДПУ.

Розрахункові дослідження коефіцієнтів опору НА дозволили одержати графіки

$k_{HA} = f(\tilde{\alpha}_{cn}, \tilde{\alpha}_0)$, що відображають в узагальненому вигляді вплив спіральної камери і статора на його характеристику (рис. 2).

Отримані дані свідчать, що зі зменшенням швидкохідності змінюється форма кривої опору. Якщо для гідротурбін високої і середньої швидкохідності характерна слабка зміна коефіцієнта опору в діапазоні робочих відкриттів, то для тихохідних гідротурбін криві зміни коефіцієнта опору характеризуються зростанням абсолютних величин при відході від мінімального значення, і мають явно виражений мінімум. Такий характер зміни кривої опору зі зміною напору обумовлюється зміною співвідношення кінцевих, ударних і втрат тертя. Встановлені можливості цілеспрямованої зміни характеристики втрат за рахунок зміни форми профілю лопатки НА.

У четвертому розділі дається виведення залежностей гідравлічного ККД і потужності гідротурбіни у функції геометричних і режимних параметрів.

Для виведення основного рівняння $\eta_{\Gamma} = f(n'_I, Q'_I, L')$ використані залежності коефіцієнтів теоретичного напору і коефіцієнтів опорів окремих видів втрат, які

приведені в главі 2.

Попередньо був знайдений вираз для кінематичного параметра $\frac{\Gamma_1 D}{Q}$:

$$\frac{\Gamma_1 D}{Q} = \frac{2\pi}{(1-k)} \frac{g\eta_\Gamma}{K_Q Q_I'^2} - F_2 - F_3 K_Q^2 + F_1 K_Q$$

(8)

Функціональна залежність, що зв'язує гідравлічний ККД із геометричними і

режимними параметрами була знайдена шляхом заміни $\frac{\Gamma_1 D}{Q}$ у виразах коефіцієнта теоретичного напору і коефіцієнтів опорів, що входять у рівняння балансу (2):

$$\left[\frac{g\eta_\Gamma}{Q_I'^2} + K_{h_n} \eta_\Gamma, n'_I, Q'_I, L'_n + K_{h_{pk}} \eta_\Gamma, n'_I, Q'_I, L'_{pk} + K_{h_{om}} \eta'_I, Q'_I \right] Q_I'^2 - g = 0$$

(9)

Отримана залежність (9) з урахуванням розгорнутих виражень коефіцієнта теоретичного напору і коефіцієнтів опорів втрат є основою для моделювання робочого процесу гідротурбіни. У відповідності з прийнятим кінематичним описом залежності k_{Hr} і k_h , приймають різний вигляд, відповідно до цього змінюється вид основного рівняння (8). Рівняння (9) у розгорнутому вигляді може бути використано як для розрахунку енергетичних характеристик гідротурбін при фіксованих геометричних параметрах ПЧ, що відповідає постановці прямої задачі теорії гідротурбін, так і для визначення геометричних параметрів, що забезпечують задані розрахункові параметри n'_I і Q'_I . Остання постановка відповідає оберненій задачі теорії гідротурбін.

Структура залежності дозволяє використовувати ММ робочого процесу різного рівня у відповідності зі стадією проектування ПЧ. При фіксованій геометрії ПЧ розмір гідравлічного ККД для відповідних заданих значень n'_I і Q'_I знаходиться з рівняння

(9). По формулі (8) визначається кінематичний комплекс $\frac{\Gamma_1 D}{Q}$, після чого знаходяться кінематичні параметри в характерних перерізах ПЧ й обчислюються відносні

величини окремих категорій втрат. Для визначення залежностей $\eta_\Gamma = f(Q'_I)$ при $n'_I = \text{const}$ і $\eta_\Gamma = f(n'_I)$ при $Q'_I = \text{const}$ розрахунок проводиться для ряду режимних точок Q'_I і n'_I у відповідному діапазоні зміни.

Зазначений розрахунок потребує попереднього визначення гідродинамічних параметрів просторової решітки РК l і m , а також коефіцієнтів поліномів, що відображають зв'язок коефіцієнтів окремих видів втрат із режимними параметрами. Отримані формули для розрахунку коефіцієнтів поліномів у залежності від геометричних параметрів елементарних решіток, які враховують перерозподіл поверхонь току зі зміною режиму. Результати розрахунків по цих формулах добре узгоджуються з досвідними даними в достатньо великому діапазоні швидкохідностей. Розрахунки гідродинамічних параметрів l і m показують закономірний характер зміни цих величин зі зміною швидкохідності. У роботі приведені систематизовані дані, що ілюструють це положення.

У роботі приведені залежності $\eta = f(Q'_i)$, $N'_i = f(Q'_i)$ при $n'_i = \text{const}$ з урахуванням дискових втрат. Для цього були використані результати розрахункового визначення коефіцієнтів дискових втрат у широкому діапазоні приведених параметрів $n'_i - Q'_i$ для гідротурбін РО45-РО500. Порівняльний аналіз показує гарне узгодження розрахункових і досвідних даних, що дозволяє рекомендувати викладений метод розрахунку для прогнозування енергетичних показників у процесі проектування ПЧ гідротурбін.

У п'ятій главі викладаються результати дослідження впливу геометричних і режимних параметрів на енергетичні характеристики РО гідротурбін. Першочерговою задачею такого дослідження є виявлення параметрів, які мають найбільш істотний вплив на енергетичні показники. Результати чисельного моделювання необхідні для цілеспрямованого внесення змін у геометрію ПЧ у процесі її розробки. Іншою задачею є визначення тих змін, що забезпечують суміщення оптимального режиму з розрахунковим. Однією з найважливіших задач є установлення впливу геометричних параметрів на параметри оптимального режиму.

У роботі, за умови максимуму гідравлічного ККД, отримані аналітичні залежності, що зв'язують параметри оптимального режиму n'_i^* і Q'_i^* з геометричними параметрами ПЧ. Приведене рішення враховує зміну коефіцієнта опору підвідної частини гідротурбіни у залежності від відкриття НА, що дозволяє використовувати його для розрахунку параметрів оптимального режиму й аналізувати вплив геометричних параметрів на оптимальний режим. При цьому використане подання гідравлічного ККД у залежності від коефіцієнтів теоретичного напору й опорів ПЧ гідротурбіни у вигляді:

$$\eta_{\Gamma} = \frac{k_{HT} \left(\frac{\Gamma_0 D}{Q}, k_Q, L'_{pk} \right)}{k_{HT} \left(\frac{\Gamma_0 D}{Q}, k_Q, L'_{pk} \right) + k_h \left(\frac{\Gamma_{cn} D}{Q}, \frac{\Gamma_0 D}{Q}, k_Q, L' \right)} \quad (10)$$

За умови максимуму гідравлічного ККД $\frac{\partial \eta_{\Gamma}}{\partial k_Q} = 0$ і $\frac{\partial \eta_{\Gamma}}{\partial y} = 0$ було отримане рівняння, що зв'язує гідравлічний ККД на оптимальному режимі з геометричними параметрами ПЧ: Алгоритм розрахунку параметрів оптимального режиму зводиться до послідовного визначення гідродинамічних параметрів просторової решітки РК, коефіцієнтів a , b , c , узагальнено враховуючих геометрію ПЧ (у роботі приведені формули для розрахунку цих коефіцієнтів), гідравлічного ККД по рівнянню (11); параметрів оптимального режиму k_Q^* , y^* , а також приведених параметрів оптимального режиму n'_i^* і Q'_i^* . Знайдені значення n'_i^* і Q'_i^* використовуються для визначення кривих n'_i і Q'_i при $n'_i = \text{const}$ і $\eta_{\Gamma} = f(Q'_i)$ при $Q'_i = \text{const}$. Запропонований метод дозволяє моделювати вплив геометричних параметрів як на параметри оптимального режиму, так і на кінематичні й енергетичні характеристики на режимах відмінних від оптимального. Аналіз даних, отриманих на основі чисельного дослідження, лежить в основі вибору модифікацій ПЧ, що забезпечують досягнення

належних показників.

Досвід розрахункових досліджень за допомогою приведених вище рівнянь для гідротурбін різної швидкохідності виявив деякі закономірності впливу геометричних параметрів на параметри оптимального режиму. При допущенні про сталість коефіцієнта опору підводу в діапазоні основних експлуатаційних режимів (оптимальний режим, лінія обмеження потужності) зміна вихідної геометрії лопаті призводить до повороту оптимального променя (промінь, що виходить із початку координат до точки максимального ККД) для гідротурбін середньої і високої швидкохідності в полі універсальної характеристики. Зміна вхідної частини лопаті практично мало впливає на положення променя, така деформація вхідних елементів лопаті зміщує оптимальний режим уздовж оптимального променя. У загальному випадку, при урахуванні зміни коефіцієнта опору НА в діапазоні робочих відкриттів, положення оптимального променя залежить від геометричних параметрів підвідної частини. Цей випадок має місце для високонапірних РО гідротурбін, для яких характерна істотна зміна коефіцієнта підвідної частини в залежності від відкриття. Результати чисельного експерименту по виявленню впливу геометричних параметрів підвідної частини на параметри оптимального режиму показали, що у високонапірних гідротурбінах збільшення вхідного перерізу спіральної камери призводить до повороту оптимального променя в область великих витрат. Проведені чисельні дослідження для високонапірних гідротурбін показали наявність максимуму гідравлічного ККД в залежності від кута спіралі, тобто існування максимуму кривої $\eta = f(\tilde{\alpha}_{cn})$. Для ПЧ РО500 максимальне значення гідравлічного ККД досягається при куті спіралі $\tilde{\alpha}_{cn} = 30^\circ$. Ці результати варто враховувати на початкових стадіях проектування проточної частини при визначенні геометричних параметрів вхідного перерізу спіральної камери. Чисельні дослідження впливу форми профілю лопатки НА на енергетичні показники, проведені стосовно до ПЧ гідротурбін РО310, РО500, показали можливість збільшення максимального гідравлічного ККД у гідротурбіні РО500 при переході від профілю позитивної кривизни до асиметричного профілю. Для гідротурбіни РО310 аналогічний ефект був отриманий при модифікації хвостової частини профілю позитивної кривизни. Досвідні дослідження в обох випадках підтвердили отриманий ефект збільшення ККД: Dh=1% для гідротурбіни РО500; Dh=1.2% для гідротурбіни РО310.

За рахунок зміни геометрії підвідної частини можна досягти зменшення коефіцієнта її опору і, отже, деякого поліпшення енергетичних характеристик (зміщення режиму оптимального ККД в область великих витрат при зберіганні його значення або деякого його підвищення, а також збільшення потужності). Реалізація цих можливостей досягається проведенням багатоваріантних розрахунків, у процесі яких визначається сумарний ефект від внесення ряду змін у геометрію підвідної частини.

Геометрія РК складним чином впливає на енергетичні показники гідротурбін.

Внесення змін у геометрію РК призводить як до зміни його теоретичної характеристики, так і характеристики витрат. Геометрія вихідних елементів лопаті впливає на вигляд коефіцієнта теоретичного напору і на вигляд залежності циркуляційних витрат. Зміна вхідної частини лопаті призводить до зміни ударних витрат. Очевидно, потрібний пошук таких модифікацій лопатевої системи, що забезпечують збільшення коефіцієнта теоретичного напору не супроводжуване збільшенням коефіцієнта витрат. Пошук таких модифікацій є дуже складною задачею і потребує проведення великих чисельних досліджень. У роботі приведений вплив параметрів m і

l , узагальнено відображаючих геометрію вихідної частини лопаті, m_m і k_{r_1} – вхідної частини лопаті (рис. 3), на параметри оптимального режиму. Від геометричних параметрів РК залежать як теоретичні значення Q'_{IT} і N'_{IT} , так і характер залежностей коефіцієнтів циркуляційних і ударних втрат, що істотно впливає на вигляд енергетичних характеристик $\eta_T = f(Q'_I)$ і $N'_I = f(Q'_I)$. Q'_{IT} і N'_{IT} являють собою величини приведені витрати і потужності в припущенні відсутності усіх втрат у ПЧ. Вид теоретичної характеристики залежить від гідродинамічних параметрів просторової решітки РК. Вплив геометрії РК на теоретичну характеристику виявляється опосередковано через гідродинамічні параметри просторової решітки, що безпосередньо входять у рівняння теоретичної характеристики. Вплив геометрії лопатевої системи на характеристики втрат (тертя, циркуляційних, ударних і т.д.) відображається поряд із гідродинамічними параметрами просторової решітки k , m , l , також параметрами m_m і k_{r_1} . У роботі приведені формули, які встановлюють зв'язок зазначених узагальнених гідродинамічних параметрів просторової решітки з геометричними параметрами елементарних решіток, що складають просторову лопатеву систему РК.

У роботі поставлена і вирішена задача про визначення узагальнених гідродинамічних параметрів просторової решітки за допомогою методів оптимізації. Оптимізаційна задача полягала у визначенні узагальнених гідродинамічних параметрів, що перетворюють цільову функцію - гідравлічний ККД - у максимум при заданих значеннях параметрів n'_I і Q'_I . Задача зводилася до пошуку умовного екстремуму функції декількох змінних при наявності нелінійних обмежень.

Математичне формулювання задачі оптимізації може бути подане у вигляді:

$$\eta_T(n'_I, Q'_I, L') \rightarrow \max, \quad F(n'_I, Q'_I, L') = 0, \quad n'_I > 0, Q'_I > 0, L' > 0$$

Задача пошуку значень параметрів $\lambda, \mu, \mu_m, K_r, K_{r_2}$, забезпечуючих максимум цільової функції вирішувалася за допомогою відомих методів оптимізації на основі запропонованих ММ робочого процесу. Порівняльний аналіз свідчить про гарне узгодження розрахункових даних із досвідними, отриманими на основі опрацювання результатів експериментальних досліджень РК різної швидкохідності (PO45-PO500). У роботі приведені систематизовані дані про величини гідродинамічних параметрів для РО гідротурбін у діапазоні коефіцієнтів швидкохідності $n_s=90-250$. Ці дані можуть бути використані для задання вихідних геометричних параметрів ПЧ у процесі її проектування.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз робіт, присвячених гідродинамічним розрахункам, показав, що подальше удосконалювання ПЧ гідротурбін вимагає знання даних про вплив геометричних параметрів на їхні показники. Такі дані можуть бути отримані в результаті фізичного або чисельного експерименту. Для ефективного використання цих даних під час проектування ПЧ потрібно встановити закономірності, що відображають вплив геометричних і режимних параметрів гідротурбін на енергетичні показники. Знання таких закономірностей необхідно як для цілеспрямованого проведення чисельного експерименту, у процесі якого досліджуються впливи найбільш істотних факторів на вихідні характеристики об'єкта (ККД, потужність), так і

для постановки і рішення оптимізаційних задач.

Застосування сучасних методів розрахунку, що базуються на квазітривимірних і тривимірних моделях течій, надзвичайно розширює можливості одержання даних про вплив геометричних і режимних параметрів; у зв'язку з цим, актуальним стає питання про раціональний науково-обґрунтований підхід до систематизації й узагальнення цих даних. Наявність таких даних є необхідною умовою при формуванні ПЧ у процесі проведення чисельного експерименту.

2. Для рішення поставлених задач використовується багаторівневий опис робочого процесу гідротурбіни у вигляді системи взаємозалежних ММ, що дозволяє ефективно досліджувати вплив геометричних параметрів на різних стадіях її проектування.

3. Розроблено узагальнену ММ опору підвідної частини РО гідротурбін, враховуючу зміни коефіцієнта опору НА в діапазоні відкриттів, що охоплюють найбільш важливі експлуатаційні режими роботи. На основі цієї моделі проведені чисельні дослідження впливу геометричних параметрів НА на величину коефіцієнта опору. Отримано узагальнені графіки, що відображають залежність коефіцієнта опору НА від кута спіралі і його геометричних параметрів. Ці дані можуть бути використані для узгодження підвідних елементів гідротурбіни із РК під час проектування ПЧ.

4. Отримано узагальнені аналітичні залежності параметрів оптимального режиму РО гідротурбіни від геометричних параметрів, що враховують зміни коефіцієнта опору підвідної частини від відкриття НА. У рамках прийнятого кінематичного опису встановлені аналітичні залежності, що зв'язують кінематичні й енергетичні параметри гідротурбіни (кути потоку в характерних перерізах, гідравлічний ККД, окремі види втрат енергії в елементах її ПЧ) від геометричних і режимних параметрів. На основі отриманих теоретичних залежностей розроблені алгоритми і відповідне програмне забезпечення, що дозволяють моделювати вплив геометричних і режимних параметрів на енергетичні показники гідротурбіни під час проектування її ПЧ.

5. За допомогою чисельних експериментів виявлений вплив підвідної частини (кута потоку, формованого спіральною камерою; висоти лопаток НА, кривизни профілю) високонапірної гідротурбіни на параметри оптимального режиму і вигляд енергетичних характеристик.

6. На основі отриманих теоретичних залежностей установлені загальні закономірності впливу узагальнених геометричних параметрів лопатевої системи РК на параметри

оптимального режиму і вигляд кривих $\eta_r = f(Q'_l)$ і $N'_l = f(Q'_l)$ при $n'_l = \text{const}$ і

$\eta_r = f(n'_l)$ при $Q'_l = \text{const}$ РО гідротурбін. У гідротурбінах високої і середньої швидкохідності вплив на вихідну геометрію лопатевої системи призводить до повороту оптимального променя. Вплив геометрії підвідної частини проявляється слабо. У високонапірних гідротурбінах поворот оптимального променя в полі універсальної характеристики може бути досягнутий також за рахунок впливу на геометрію підвідної частини. Ці висновки необхідно використовувати в процесі формування ПЧ гідротурбін, із метою суміщення розрахункового режиму з оптимальним і забезпечення необхідного вигляду енергетичних характеристик.

Отримані рекомендації для формування геометрії ПЧ із метою одержання необхідних показників задовільно узгоджуються з досвідними даними в діапазоні швидкохідностей $n_s = 90-250$.

7. На основі розробленої моделі робочого процесу гідротурбіни поставлена і вирішена оптимізаційна задача розрахунку оптимальних гідродинамічних параметрів просторової решітки РК. Рішення задачі дозволяє знаходити вектор гідродинамічних

параметрів ПЧ, що максимізує цільову функцію - гідравлічний ККД. Знання цих параметрів необхідне на початкових стадіях проектування для вибору основних геометричних параметрів. Одержані результати дозволяють більш обґрунтовано здійснювати вибір основних геометричних параметрів під час проектування ПЧ.

8. Розроблена ММ робочого процесу РО гідротурбіни була використана при розробці ПЧ міні-ГЕС на напорі 60-100м В СКБ “ТГМ” ВАТ “Турбоатом”.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Колычев В.А., Дранковский В.Э., Мараховский М.Б. Применение методов оптимизации для расчета параметров оптимального режима гидротурбины //Вестник ХГПУ. - Харьков,1997.-Вып.8.-С.93-100.
2. Колычев В.А., Дранковский В.Э., Мараховский М.Б., Миронов К.А., Эскрибано Е.М. О влиянии геометрических параметров проточной части на оптимальный режим радиально-осевой гидротурбины //Вестник ХГПУ. - Харьков,1998.-Вып.15.-С.50-57.
3. Колычев В.А., Дранковский В.Э., Мараховский М.Б. Поверочный расчет кинематических и энергетических характеристик радиально-осевой гидротурбины в задаче проектирования ее проточной части //Вестник СумГУ. - Сумы,1998.-№2(10).-С.28-34.
4. Колычев В.А., Дранковский В.Э., Мараховский М.Б., Миронов К.А., Цехмистро Л.Н. Математическая модель сопротивления подводящей части радиально-осевой гидротурбины //Вестник ХГПУ. - Харьков,1999.-Вып.68.-С.35-48.
5. Колычев В.А., Дранковский В.Э., Мараховский М.Б., Миронов К.А., Цехмистро Л.Н. Численное моделирование влияния геометрических параметров подводящей части на оптимальный режим гидротурбины //Вестник ХГПУ.- Харьков,2000.-Вып.89.-С.138-150.
6. Колычев В.А., Дранковский В.Э., Цехмистро Л.Н. Расчет гидродинамических параметров пространственной решетки рабочего колеса радиально-осевой гидротурбины // Вестник ХГПУ.- Харьков,2000.-Вып.111.-С.7-20.
7. Колычев В.А., Дранковский В.Э., Мараховский М.Б.,Эскрибано Е.М. Расчет гидродинамических характеристик направляющего аппарата гидромашин //Тезисы докладов на международной научно-технической конференции “Совершенствование энергетических и транспортных турбоустановок методами математического моделирования, вычислительного и физического экспериментов”, Харьков: Институт проблем машиностроения НАН Украины.-1994.-ч. 3.-С 12-13.
8. Колычев В.А., Панченко Н.С., Дранковский В.Э., Мараховский М.Б., Эскрибано Е.М. Разработка проточной части радиально-осевой гидротурбины для мини-ГЭС на напоры 60-100м. //Тезисы докладов на международной научно-технической конференции “Проблемы ресурсо- и природосбережения в энергетике”, Харьков: Харьковский государственный политехнический университет, 1994.-С.96.
9. Колычев В.А., Дранковский В.Э., Мараховский М.Б. Численное моделирование рабочего процесса радиально-осевой гидротурбины. //Научное издание: компьютер, наука, техника, технология, здоровье. Тезисы докладов на международной научно-технической конференции. Харьков-Мишкольц, -1994. -С.12.
10. Колычев В.А., Мараховский М.Б., Дранковский В.Э. Разработка и опыт применения математических моделей рабочего процесса для прогнозирования энергокавитационных показателей гидротурбины. //Численные методы в гидравлике и гидродинамике: Тезисы докладов на 1-ой международной конференции. Донецк: Дон ГУ, -1994. -С.19
11. Колычев В.А., Мараховский М.Б., Булгаков В.А., Дранковский В.Э., Эскрибано Е.М. Численное моделирование режимных параметров на структуру потока за

- рабочим колесом радиально-осевой гидротурбины //Материалы международной научно-технической конференции “Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье”, Харьков, Мишкольц: ХГПУ, МУ,-1995.-С.128.
12. Колычев В.А., Дранковский В.Э., Мараховский М.Б. Прогнозирование универсальной характеристики радиально-осевой гидротурбины //Материалы международной научно-технической конференции “Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье”, Харьков, Мишкольц, Магдебург: ХГПУ, МУ, МТУ, -1996.-С.61.
13. Колычев В.А., Дранковский В.Э., Мараховский М.Б. Разработка и опыт применения кинематических моделей потока при проектировании проточной части гидротурбины. //Труды международной научно-технической конференции “Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье” Ч.2.- Харьков, Мишкольц, Магдебург: Харьк. гос. политехн. ун-т, Мишкольц. ун-т, Магдебург. ун-т,-1997.-С.95-98.
14. Колычев В.А., Дранковский В.Э., Мараховский М.Б. Анализ гидродинамических характеристик проточной части радиально-осевой гидротурбины //Труды Международной научно-технической конференции “Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования”, Харьков: Институт проблем машиностроения НАН Украины.-1997.-С.468-472

АНОТАЦІЇ

Дранковський В.Е. Моделювання впливу геометричних і режимних параметрів на енергетичні показники радіально-осьової гідротурбіни під час проектування її проточної частини. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.05.17 – гідравлічні машини і гідропневмоагрегати. - Харківський державний політехнічний університет, Харків, 2000.

У дисертаційній роботі приведені результати чисельного моделювання впливу геометричних і режимних параметрів на енергетичні характеристики РО гідротурбін. На основі математичного опису робочого процесу за допомогою комплексу ММ енергетичної взаємодії потоку з робочими органами гідротурбіни встановлений взаємозв'язок геометричних, кінематичних і режимних параметрів. Розроблено узагальнену модель опору підвідної частини, яка враховує зміну коефіцієнта опору НА в діапазоні відкриттів, охоплюючих найбільш важливі експлуатаційні режими роботи. На основі цієї моделі проведені чисельні дослідження й отримані узагальнені графіки, що відображають вплив кута спіралі, висоти НА, форми профілю на коефіцієнт опору підвідної частини гідротурбіни. У рамках прийнятого кінематичного опису встановлені залежності енергетичних показників від геометричних і режимних параметрів. Отримано залежності для оптимального режиму, що дозволяють моделювати вплив геометричних параметрів ПЧ, які враховують зміну коефіцієнта опору підвідної частини при зміні відкриття НА. Проведені чисельні дослідження на основі запропонованих залежностей, що зв'язують геометричні, режимні й енергетичні параметри, добре узгоджуються з досвідними даними.

Ключові слова: радіально-осьова гідротурбіна, проточна частина, математична модель, геометричні і режимні параметри, енергетичні показники.

Дранковский В.Э. Моделирование влияния геометрических и режимных параметров на энергетические показатели радиально-осевой гидротурбины при проектировании ее проточной части. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.17 – гидравлические машины и гидропневмоагрегаты. –

Харьковский государственный политехнический университет, Харьков, 2000.

В диссертационной работе приведены результаты численного моделирования влияния геометрических и режимных параметров на энергетические характеристики радиально-осевых гидротурбин. На основе критического анализа работ, посвященных гидродинамическим расчетам проточных частей гидротурбин, сделан вывод, что дальнейшее совершенствование ПЧ требует накопления расчетных и опытных данных о влиянии геометрических и режимных параметров на энергетические показатели. Знание этих данных необходимо как для выбора исходных геометрических параметров, так и поиска наиболее эффективных модификаций с целью совершенствования энергетических показателей. Для численного исследования влияния геометрических и режимных параметров на энергетические показатели гидротурбины использовалось многоуровневое описание рабочего процесса, построенного в соответствии с принципами блочно-иерархического подхода в виде системы взаимосвязанных математических моделей. Каждый иерархический уровень характеризуется различной степенью детализации математического описания и своим подходом при решении задач. Общая структура математического описания рабочего процесса установлена с помощью основного уравнения гидротурбин, уравнения баланса энергии и уравнения кинематической связи, записанных в безразмерной форме. Исходя из общей структуры математической модели, предложен поэтапный подход к использованию ММ разного уровня. На первом этапе проектирования используется одномерная ММ рабочего процесса. Полученные в результате осредненные параметры потока в характерных сечениях ПЧ (угол закрутки потока в абсолютном и относительном движении, осредненная циркуляция) учитываются в качестве ограничений на втором этапе. Для раскрытия зависимостей коэффициентов теоретического напора и сопротивлений ПЧ используется кинематическое описание с помощью комплекса кинематических моделей разного уровня. Опыт расчетных исследований показал, что в состав кинематического описания должны входить следующие модели: модель осредненного осесимметричного движения, учитывающая смещение поверхностей тока в полости РК; модель течения в решетках на фиксированных поверхностях тока; модель описания потока с помощью безразмерных осредненных параметров. Выбор наиболее эффективной модели зависит как от стадии проектирования ПЧ, так и характера поставленных задач.

Описание рабочего процесса в виде системы ММ позволило применить методы оптимизации для решения задач гидродинамического расчета и анализа на различных стадиях проектирования ПЧ гидротурбины. На основе ММ энергетического взаимодействия потока с рабочими органами гидротурбины, учитывающей смещение поверхностей тока с изменением режима, установлена взаимосвязь геометрических, кинематических и режимных параметров.

Разработана обобщенная модель сопротивления подводящей части, учитывающая изменение коэффициента сопротивления НА в диапазоне открытий, охватывающих наиболее важные эксплуатационные режимы работы. На основе этой модели проведены численные исследования и получены обобщенные графики, отражающие влияние угла спиральной камеры, высоты НА, формы профиля на коэффициент сопротивления подводящей части гидротурбины.

В рамках принятого кинематического описания установлены аналитические зависимости коэффициентов сопротивлений отдельных категорий потерь от геометрических и режимных параметров. Получены зависимости для оптимального режима, позволяющие моделировать влияние геометрических параметров ПЧ, учитывающие изменение коэффициента сопротивления подводящей части при

изменении открытия НА. Разработано программное обеспечение, позволяющее моделировать влияние геометрических и режимных параметров на энергетические показатели гидротурбины при проектировании ее ПЧ.

С помощью численных экспериментов установлены общие закономерности влияния обобщенных геометрических параметров подводящей части и РК на параметры оптимального режима и вид энергетических характеристик. Для высоконапорной гидротурбины расчетными исследованиями было установлено, что зависимость гидравлического КПД от угла потока, создаваемого спиральной камерой, имеет максимум. С помощью полученных уравнений оптимального режима выполнены расчеты по исследованию влияния геометрических параметров ПЧ гидротурбин различной быстроходности на положение оптимального луча в поле приведенных режимных параметров.

На основе разработанной модели рабочего процесса гидротурбины с помощью оптимизационных методов поставлена и решена задача по определению гидродинамических параметров пространственной решетки РК. Обобщены расчетные и опытные данные зависимости основных гидродинамических параметров пространственной решетки рабочего колеса от коэффициента быстроходности. Проведены экспериментальные исследования для подтверждения адекватности разработанной модели сопротивления подводящей части РО гидротурбины. Проведенные численные исследования на основе предложенных зависимостей, связывающих геометрические, режимные и энергетические параметры хорошо согласуются с опытными данными.

Ключевые слова: радиально-осевая гидротурбина, проточная часть, математическая модель, геометрические и режимные параметры, энергетические показатели.

Drankovsky V.E. Modelling the influence of geometrical and operational parameters on the Francis turbine efficiency factors/characteristics at the development stage of hydraulic components. - Manuscript.

The Candidate of Technical Science Thesis on speciality 05.05.17 – Hydraulic Mashines and Hydropneumounits. – Kharkov State Polytechnic University, Kharkov, 2000.

The results of numerical simulation of influence of geometry and operational parameters on efficiency characteristic of Francis turbines are demonstrated. On the basis of mathematical models of flow and hydraulic components interaction the relationship between geometrical, operational and kinematic parameters has been obtained. The generalized resistance model of turbine inlet (spiral case – stay ring- distributor) has been developed, taking into account the change of loss coefficient in terms of guide vane openings. On the basis of this model the numerical investigations have been carried out and generalized plots were obtained regarding the influence of spiral casing angle, distributor height, guide vane profile on the turbine inlet loss coefficient. The relations between the geometry, operational parameters and efficiency factors have been obtained. The formulae for optimum operation were developed for modelling the influence of turbine space geometry in terms of guide vane opening. The results of computerized numerical investigations using the developed relationships correspond with experimental data.

Key words: mixed flow hydroturbine, flow space, mathematical model, geometrical and operational parameters, efficiency performance parameters.

Відповідальний за випуск к.т.н. , доц. Зайченко Є.Т.

Підписано до друку

Формат видання 145г215. Формат паперу 60г90/16.

Папір офісний. Друк. – ризографія.

Обсяг 0.9 авт. арк. Тираж 100 прим. Зам. №

Адреса типографії