

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

ГУЛАХМАДОВ АМІНДЖОН АБДУДЖАББОРОВИЧ



УДК 621.224

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ
ВИСОКОНАПІРНИХ ГІДРОТУРБІН ШЛЯХОМ ВДОСКОНАЛЕННЯ
ПРОТОЧНИХ ЧАСТИН**

Спеціальність 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків 2014

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі гідравлічних машин Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Миронов Костянтин Анатолійович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
доцент кафедри гідравлічних машин

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Солодов Валерій Григорович,
Харківський національний автомобільно-дорожній
університет, завідувач кафедри теоретичної
механіки та гідравліки

кандидат технічних наук, доцент
Неня Віктор Григорович,
Сумський державний університет, доцент кафедри
комп'ютерних наук

Захист відбудеться 04 грудня 2014 р. о 14:30 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.11 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

Із дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розіслано 27 жовтня 2014 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Ю. О. Юдін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Підвищення ефективності робочого процесу наявних ГЕС та ГАЕС, а також будівництво нових станцій є важливою економічною задачею, вирішення якої зумовлює потребу вдосконалення проточних частин (ПЧ) гідротурбін (ГТ).

Розвиток теорії робочого процесу й застосування методів математичного моделювання дало змогу істотно розширити можливості накопичення інформації про вплив геометричних і режимних параметрів на енергетичні характеристики гідротурбіни.

Практика проектування ГТ із використанням САПР указує на доцільність розроблення нових змістовних моделей робочого процесу, створення відповідних методів розрахунку. Такі дослідження повинні досить повно відбивати закономірності робочого процесу, забезпечуючи необхідну для практики проектування точність розрахунку гідродинамічних характеристик робочих органів і показників гідротурбіни в цілому.

Проектування ПЧ ГТ виконують шляхом перебирання форм і вибору тих їх варіантів, які за заданих режимів забезпечать найкращі енергокавітаційні характеристики. Чисельне моделювання течій має вирішальне значення, оскільки дає змогу оперативно відображувати вплив форм ПЧ на енергокавітаційні характеристики, тому затребуваним залишається задача вдосконалення методів моделювання просторових течій. Труднощі розв'язання цієї задачі зумовлено складною геометрією ПЧ й великою кількістю фізичних явищ, які перебігають у ній.

Таким чином, науково-практична задача, яка пов'язана з удосконаленням фізико-математичних моделей робочого процесу у високонапірних гідротурбінах є актуальною та положена в основу дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами й темами. Дисертаційна робота виконувалася на кафедрі гідравлічних машин НТУ «ХП». Здобувач був виконавцем етапів держбюджетної теми МОН України: «Розробка математичних моделей і методів проектування гідроагрегатів з широким діапазоном експлуатації на пікових навантаженнях та оптимізація енергокавітаційних характеристик» (ДР №0112U000406).

Мета й задачі роботи. Мета роботи підвищення енергетичних показників радіально-осьових (РО) гідротурбін шляхом побудови та удосконалення математичних моделей робочого процесу.

Для досягнення мети поставлені такі основні задачі:

- проаналізувати наявні методи проектування радіально-осьових гідротурбін і методики прогнозування їх характеристик;
- розробити та апробувати методику прогнозування енергетичних характеристик радіально-осьових гідротурбін;
- обґрунтувати можливість змінювання форми елементів підвода гідротурбіни без погіршення рівня ККД;
- розробити комплекс програм (КП), який дозволить в стислі терміни спроектувати й розрахувати лопатеву систему робочого колеса радіально-осьової гідротурбіни;

– удосконалити проточну частину високонапірної радіально-осьової гідротурбіни, яка має високі енергетичні показники, на основі проведення чисельного експерименту.

Об'єкт дослідження – робочий процес енергетичної взаємодії потоку рідини з робочими органами радіально-осьової гідротурбіни.

Предмет дослідження – функціональні залежності між енергетичними, геометричними й режимними параметрами проточної частини радіально-осьової гідротурбіни.

Методи дослідження. Поставлені в дисертаційній роботі задачі розв'язано на основі застосування методів обчислювальної гідродинаміки. Теоретичні положення роботи ґрунтуються на фундаментальних положеннях механіки рідини й газу, методах математичного та фізичного моделювання робочого процесу гідротурбін. При побудові математичної моделі енергетичної взаємодії лопатевих систем із потоком використаний блочно-ієрархічний підхід, заснований на принципах системного аналізу. Чисельне дослідження течії рідини в ПЧ ГТ проводилося на ЕОМ по методу ЦКПІ (Центральний котлотурбінний інститут ім. І.І. Ползунова (м. Санкт-Петербург)) та з використанням програмного продукту FlowVision.

Наукова новизна здобутих результатів полягає в тому, що в роботі:

1) дістала подальшого розвитку комплексне вирішення задача створення високоефективної проточної частини високонапірної радіально-осьової гідротурбіни шляхом узгодження кінематичних і геометричних параметрів елементів проточної частини гідротурбіни;

2) вперше розроблено перспективну проточну частину високонапірної радіально-осьової гідротурбіни з теоретично високими енергетичними показниками, на підставі чисельних досліджень, аналогів якої немає в номенклатурі;

3) дістала подальшого розвитку математична модель енергетичної взаємодії потоку з робочими органами гідротурбіни, яка враховує вплив усіх елементів проточної частини на формування енергетичних характеристик радіально-осьових гідротурбін;

4) удосконалено методи проектування проточних частин високонапірних радіально-осьових гідротурбін, що дають можливість у стислі терміни розробити нову проточну частину з високими енергетичними показниками;

5) розроблено й апробовано методику прогнозування енергетичних характеристик, яка дає змогу на початкових етапах проектування перевіряти відповідність фактичних оптимальних параметрів з тими, що задано замовником.

Практичне значення здобутих результатів для енергомашинобудівної галузі полягає в розробленні комплексу програм для проектування й розрахунку радіально-осьових робочих коліс. Проведено чисельний експеримент на основі розробленого комплексу програм, який дає змогу оцінити енергетичні параметри спроектованої лопатєвої системи, підвищити якість розробок, скоротити терміни проектування за рахунок спрямованого відбору кращих варіантів, зменшити витрати на розроблення ГТ. Розроблено методику проведення чисельного експерименту, що дає можливість цілеспрямовано шукати поліпшені варіанти ПЧ відповідно до вимог до енергетичних показників ГТ. ПЧ високонапірної РО ГТ, яка розроблена

здобувачем, відповідає сучасним технічним вимогам і має характеристику, що відповідає рівню провідних світових виробників.

Результати дисертаційної роботи впроваджені у ВАТ “Турбоатом” (м. Харків) при розробці проточної частини на напори $H = 400 - 500$ м., а також застосовуються під час розрахунку та проектування ПЧ РО ГТ на кафедрі гідравлічних машин НТУ «ХП», а також використовуються в навчальному процесі в курсах "Гідравлічні турбіни", "Основи теорії робочого процесу та гідродинамічного розрахунку лопатевих гідромашин".

Особистий внесок здобувача. Усі положення дисертації, які виносяться на захист, здобувач розробив особисто, серед них: спроектовано лопатеві системи робочих коліс (РК) і напрямних апаратів (НА), що мають високі енергетичні показники та створено й апробовано методику прогнозування енергетичних характеристик РО ГТ з використанням дво- і тривимірних методів; отримано результати розрахункового дослідження впливу геометричних параметрів ПЧ високонапірної РО ГТ на її енергетичні показники.

Апробація результатів дисертації. Основні положення й результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на: Міжнародній науково-технічній конференції «Удосконалення турбоустановок методами математичного і фізичного моделювання» (Зміїв, Харків. обл., 2012); Всеукраїнській науково-технічній конференції «Проблеми енергозбереження України та шляхи їх вирішення» (Харків, 2012); Міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Харків, 2012, 2013); Міжнародній науково-технічній конференції ПАТ «Укргідропроєкт» (Харків, 2013); Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні напрямки теоретичних і прикладних досліджень '2013» (Одеса, 2013) та Міжнародній науково-технічній конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці» (Київ, 2013).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 7 наукових праць, серед них 6 робіт у фахових виданнях України (2 у наукометричних базах даних), а також 5 тез доповідей у матеріалах конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотири розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації становить 171 сторінку, із них: 59 рисунків по тексту, 6 рисунків на 6 окремих сторінках, список використаних джерел зі 140 найменувань на 16 сторінках, 5 додатків на 5 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність виконаної роботи з удосконалення методів проектування елементів ПЧ високонапірних РО ГТ, сформульовано мету й задачі дослідження, визначено основні положення щодо наукової новизни та практичної цінності результатів, отриманих у роботі.

Перший розділ присвячено проблемному аналізу науково-технічної інформації щодо способів підвищення ефективності робочого процесу високонапірних РО ГТ і вдосконалення ПЧ. З'ясовано сучасний стан питання про

методи експериментального й чисельного дослідження впливу геометричних параметрів ПЧ на кінематичні й енергетичні характеристики ГТ. Одним з основних методів удосконалення енергетичних якостей ГТ є внесення змін у геометрію ПЧ із подальшим розрахунковим оцінюванням енергетичних і кавітаційних якостей.

Відзначено, що за допомогою експериментальних досліджень оцінюється вплив геометричних параметрів ПЧ на показники ГТ в цілому, без розкриття механізму впливу цих параметрів на деякі види втрат.

Розвиток методів математичного моделювання розширив можливості аналізу впливу геометричних параметрів на кінематичні й енергетичні характеристики. Проаналізовано сучасні методи розрахунку кінематичних та енергетичних характеристик ГТ на основі різних моделей течії. Підкреслено, що нині у практиці гідродинамічних розрахунків ПЧ застосовують методи, засновані на одно-, дво- і тривимірних моделях течії рідини. У працях І. Е. Етінберга, Б. С. Раухмана, Г. І. Топажа, О. В. Гольдіна, В. І. Клімовича, Г. М. Моргунова, С. Г. Чорного, В. Н. Лапіна, В. А. Скороспелова, D. C. Wilcox, E. Göde, A. Ruprecht, M. Sallaberger, H. Brekke та ін. показано застосування квазітривимірних і тривимірних моделей для розрахунку енергетичних показників ГТ. Окрім просторових методів розрахунку, під час розроблення ПЧ використовують спрощені моделі течії. У роботах І. М. Пильова, Г. І. Топажа, В. О. Количева та ін. наведено дані з розрахунку енергетичних характеристик ГТ, засновані на застосуванні усереднених параметрів потоку.

Математичне моделювання енергетичних характеристик передбачає розв'язання низки задач: розрахунок та аналіз формування енергетичних характеристик; чисельний аналіз впливу геометричних і режимних параметрів як на деякі види втрат, так і на енергетичні показники в цілому; чисельне дослідження впливу геометричних параметрів на параметри оптимального режиму й аналіз умов його формування. Вирішенню вказаних питань присвячено праці А. Ю. Колтона, І. Е. Етінберга, Е. В. Гутовського, Г. І. Топажа, В. О. Количева та ін. Результати чисельного й фізичного експериментів про вплив геометричних параметрів на енергетичні показники широко використовують у загальноприйнятому підході до вдосконалення ПЧ, що ґрунтується на внесенні змін у геометрію й подальшому їх оцінюванні.

Підкреслено, що доцільним є визначення загальних закономірностей робочого процесу на основі математичного моделювання. Математична модель може бути ефективно використана як для чисельного пошуку оптимальних варіантів ПЧ шляхом багатоваріантного чисельного аналізу, так і для застосування оптимізаційних методів під час розв'язання оберненої задачі.

Відзначено перспективність розроблення математичної моделі робочого процесу, заснованих на тривимірних моделях в'язкого потоку в елементах ПЧ ГТ. Питання впливу геометричних і режимних параметрів на енергетичні характеристики ГТ потребує подальшого дослідження та доцільно систематизувати дані про вплив геометричних параметрів підвідної частини високонапірної ГТ на її енергетичні характеристики.

У **другому розділі** детально проаналізовано формування енергетичних характеристик РО ГТ. Методика такого аналізу ґрунтується на теорії робочого

процесу, що встановлює загальні закономірності обтікання лопатевих систем і їх силової взаємодії з потоком. Для опису вказаних закономірностей застосовано безрозмірні комплекси, структура яких впливає з теорії розмірності (Д. А. Войташевський, С. С. Руднєв).

Для чисельного дослідження впливу геометричних параметрів на енергетичні характеристики ГТ використано багаторівневий опис робочого процесу, побудований відповідно до принципів блоково-ієрархічного підходу у вигляді системи взаємозалежних математичних моделей.

Переваги багаторівневого опису робочого процесу ГТ виявляються в можливості:

а) чисельного моделювання гідродинамічних та енергетичних характеристик ПЧ ГТ на різних рівнях відповідно до стадії розроблення проекту;

б) систематичного (у міру накопичення дослідних і розрахункових даних) удосконалювання опису деяких елементів без перероблення всієї математичної моделі робочого процесу в цілому.

Загальну структуру математичного опису робочого процесу встановлено за допомогою основного рівняння гідротурбіни й рівняння балансу енергії, записаних у безрозмірній формі:

$$\eta_{\Gamma} = \frac{k_{HT}}{g} Q_I'^2; \quad (1)$$

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

Гідравлічна потужність і ККД гідротурбіни визначалися за такими залежностями:

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

$$\eta = \eta_{\Gamma} \eta_0 \eta_D. \quad (4)$$

На підставі теорії розмірності коефіцієнт теоретичного напору й коефіцієнт опору ПЧ знаходяться за формулами:

$$\text{коефіцієнт теоретичного напору} - k_{HT} = k_{HT} \left(\frac{\bar{\Gamma}_1 D}{Q}, \frac{\omega D^3}{Q}, L'_{pk} \right);$$

$$\text{коефіцієнт опору робочих органів} - k_h = k_{h_n} + k_{h_{pk+om}},$$

$$\text{де } k_{h_n} = f_1 \left(\frac{\bar{\Gamma}_{cn} D}{Q}, \frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, L'_n \right) - \text{коефіцієнт опору підвода};$$

$$k_{h_{pk+om}} = \frac{gh_{pk+om} D^4}{Q^2} = f_2 \left(\frac{\bar{\Gamma}_1 D}{Q}, \frac{\omega D^3}{Q}, L'_{pk+om} \right) - \text{коефіцієнт опору РК і}$$

відсмоктуючої труби.

Для розкриття залежностей k_{HT} і k_{h_i} використано кінематичний опис потоку в ПЧ, побудований на блоково-ієрархічному принципі. У межах такого опису змінення структури потоку зі зміненням режиму враховується за допомогою комплексу взаємозалежних моделей різного рівня:

1) спрощеної моделі усередненого осесиметричного руху, що приблизно враховує зміщення поверхонь течії у порожнині РК;

2) моделі течії в решітках на поверхнях течії без урахування їхнього зміщення зі зміною режиму;

3) опису потоку за допомогою безрозмірних усереднених параметрів.

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

Основне кінематичне рівняння встановлює зв'язок безрозмірних кінематичних комплексів (коефіцієнтів усереднених циркуляцій) у вхідному й вихідному перерізах РК з постійною частотою обертання

$$\frac{\bar{\Gamma}_2 D}{Q} = k \frac{\bar{\Gamma}_1 D}{Q} - (1-k)\mu + (1-k)\frac{\pi}{2} \Lambda^2 k_Q, \quad (5)$$

де k , μ , Λ – гідродинамічні параметри просторових решіток РК. Рівняння (5) не накладає обмежень на просторовість і в'язкість (Г. В. Вікторов, В. О. Количев), тому воно справедливе для реального обтікання просторових решіток РК.

Загальні закономірності силової взаємодії виражаються залежностями безрозмірних коефіцієнтів гідравлічного моменту, потужності й теоретичного напору:

$$k_{MG} = \frac{M_G D}{\rho Q_k^2} = \frac{(1-k)}{2\pi} \left(\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q} + \mu - \frac{\pi}{2} \Lambda^2 k_Q \right), k_{NG} = \frac{N_G D^4}{\rho Q_k^3} = k_{HT} = \frac{(1-k)}{2\pi} \left(\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q} + \mu - \frac{\pi}{2} \Lambda^2 k_Q \right) k_Q, \\ k_{HT} = \frac{g H_G D^4}{Q_k^2} = \frac{(1-k)}{2\pi} \left(\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q} + \mu - \frac{\pi}{2} \Lambda^2 k_Q \right) k_Q. \quad (6)$$

Залежність (6) виражає загальні закономірності силової взаємодії потоку з РК і є теоретичною характеристикою ГТ.

Побудована математична модель робочого процесу РО ГТ (1-6) передбачає попереднє визначення моделі втрат у ПЧ – функціональної залежності, що відбиває в безрозмірній формі зв'язок втрат енергії в ПЧ з геометричними, кінематичними й режимними параметрами.

$$K_h = K_{hск} + K_{hна} \left(\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, K_Q \right) + K_{hрктр} + K_{hркрр} + K_{hуо} \left(\frac{\bar{\Gamma}_0 D}{Q}, K_Q \right) + K_{hц} (K_Q) + K_{hos} (K_Q) + K_{HOT} \quad (7)$$

Продемонстровано можливість застосування розробленої математичної моделі для розв'язання низки задач, пов'язаних з проектуванням і вдосконаленням ПЧ: прогнозування енергетичних характеристик; аналіз впливу геометричних параметрів ПЧ на деякі види втрат і на енергетичні показники в цілому; узгодження елементів ПЧ під час вибору її основних геометричних параметрів та ін.

Під час проектування ПЧ вибір вихідних геометричних параметрів РК відбувається без належного узгодження з іншими елементами ПЧ. Це, як правило, призводить до того, що розрахунковий і заданий оптимальний режими не збігаються. Доведення ПЧ до необхідних показників здійснюється шляхом внесення змін у геометрію і проведення подальших багатоваріантних розрахунків. Складність полягає в пошуку варіантів ПЧ, які оптимізують показники ГТ. Запропонований

підхід для забезпечення кращого узгодження параметрів розрахункового режиму з оптимальним ґрунтується на використанні рівнянь оптимального режиму, що пов'язують параметри оптимального режиму з гідродинамічними параметрами РК.

Розроблена математична модель дає змогу визначати параметри оптимального режиму шляхом максимізації цільової функції – ККД ГТ $\eta = f(n_I, Q_I)$. Цільова функція має вигляд:

$$\eta(n_I, Q_I) = \frac{1}{2\pi g} \left[\frac{1}{2F_2} \frac{(-F_1 + \sqrt{F_1^2 - 4F_2F_0})}{S_0} + \mu - \frac{\pi \lambda^2 \frac{\pi n_I}{30 Q_I}}{2} \right] \frac{\pi n_I Q_I}{30}, \quad (8)$$

$$F_0 = Q_I^2 K + Q_I^2 b_1 \left(\frac{\pi n_I}{30 Q_I} \right)^2 + Q_I^2 b_4 \frac{\pi n_I}{30 Q_I} + Q_I^2 c_2 \left(\frac{\pi n_I}{30 Q_I} \right)^2 + Q_I^2 c_1 \frac{\pi n_I}{30 Q_I}$$

де

$$+ Q_I^2 d_2 \left(\frac{\pi n_I}{30 Q_I} \right)^2 + Q_I^2 d_2 \frac{\pi n_I}{30 Q_I} + \frac{1}{2} Q_I \mu \frac{\pi n_I}{n} - \frac{1}{4} Q_I^2 \lambda^2 \left(\frac{\pi n_I}{30 Q_I} \right)^2 - g,$$

$$F_1 = Q_I^2 a_1 + Q_I^2 b_3 \frac{\pi n_I}{30 Q_I} + Q_I^2 \frac{b_5}{S_0} + \frac{1}{2} Q_I^2 \frac{30 Q_I}{\pi S_0}, \quad (9)$$

$$F_2 = Q_I^2 a_2 + Q_I^2 \frac{b_2}{S_0^2},$$

$$K = K_{hcn} + K_{hcm} + K_{hpktp} + K_{hpkkr} + K_{homc} + a_0 + b_6 + c_0 + d_0. \quad (10)$$

Шляхом знаходження екстремуму функції $\eta = f(n_I, Q_I)$ знаходять параметри оптимального режиму n_I, Q_I, η .

Для розрахунку ККД на заданому режимі роботи n_I, Q_I використовується залежність

$$\eta(Q_I, n_I) = \frac{1}{2\pi g} \left[\frac{1}{2F_2} \frac{(-F_1 + \sqrt{F_1^2 - 4F_2F_0})}{S_0} + \mu - \frac{\pi \lambda^2 \frac{\pi n_I}{30 Q_I}}{2} \right] \frac{\pi n_I Q_I}{30}. \quad (11)$$

Для розрахунку кутів потоку на виході з НА використовується формула:

$$\tilde{\alpha}_0(Q_I, n_I) = \text{acgt} \left(\frac{1}{2F_2} \left(-F_1 + \sqrt{F_1^2 - 4F_2F_0} \right) \right). \quad (12)$$

Наведені залежності для $\eta, \tilde{\alpha}_0$ застосовуються для побудови ізолій відповідно $\eta = \text{const}$ и $\tilde{\alpha}_0 = \text{const}$ у полі наведених параметрів.

Використовуючи математичні залежності (11, 12) здійснюється побудова прогнозу універсальної характеристики ГТ, що дає змогу оцінити збіг розрахункового оптимального режиму з вимогою технічного завдання на проектування ПЧ ГТ. На рис. 1 наведено прогнозу універсальну характеристику кращого варіанта розробленої ПЧ РО500. На рис. 2 наведено залежності деяких

видів втрат від наведених параметрів $\frac{\bar{h}_i}{H} = f\left(\frac{Q'_{I}}{Q'_{onm}}\right)$ при $n'_{I onm} = const$ і $\frac{\bar{h}_i}{H} = f\left(\frac{n'_I}{n'_{onm}}\right)$ при $Q'_{I onm} = const$ для РО ГТ РО500. Аналіз балансу втрат потрібен для з'ясування умов формування оптимального режиму та ступеня узгодження елементів ПЧ.

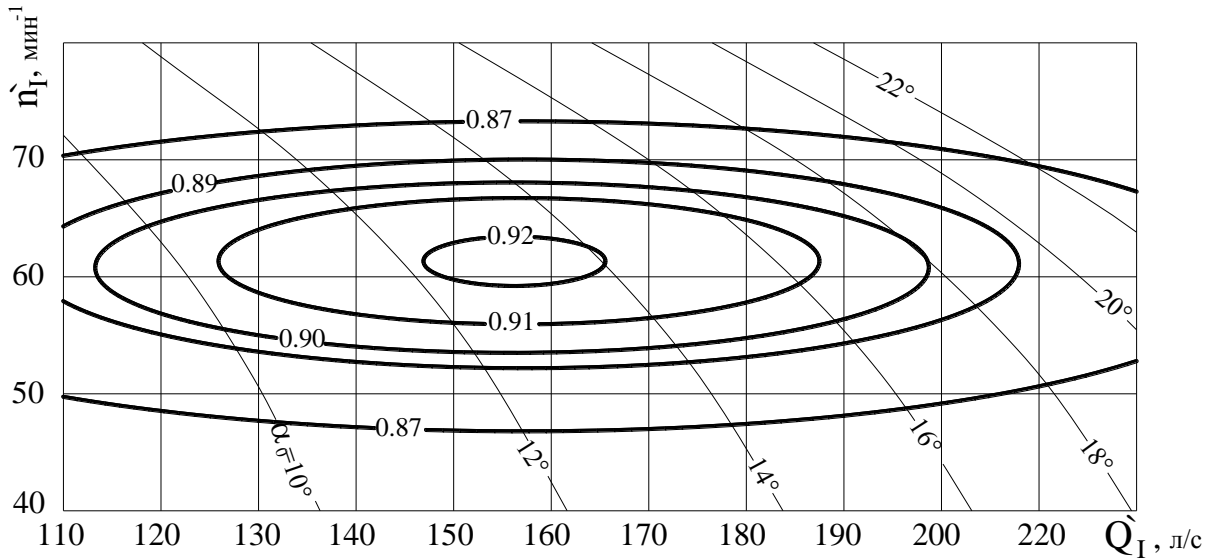


Рисунок 1 – Прогнозна універсальна характеристика ГТ типу РО500 з симетричним НА

Наведені розрахункові дані дають змогу зробити висновки про вплив деяких видів гідравлічних втрат на параметри оптимального режиму, а також про їх вплив на характер зміни ККД за умови відходження від оптимального режиму, тобто про пологість кривих $\frac{\eta}{\eta_{max}} = f\left(\frac{Q'_I}{Q'_{onm}}\right)$ при $n'_{I onm} = const$ і $\frac{\bar{h}_i}{H} = f\left(\frac{n'_I}{n'_{onm}}\right)$ при $Q'_{I onm} = const$.

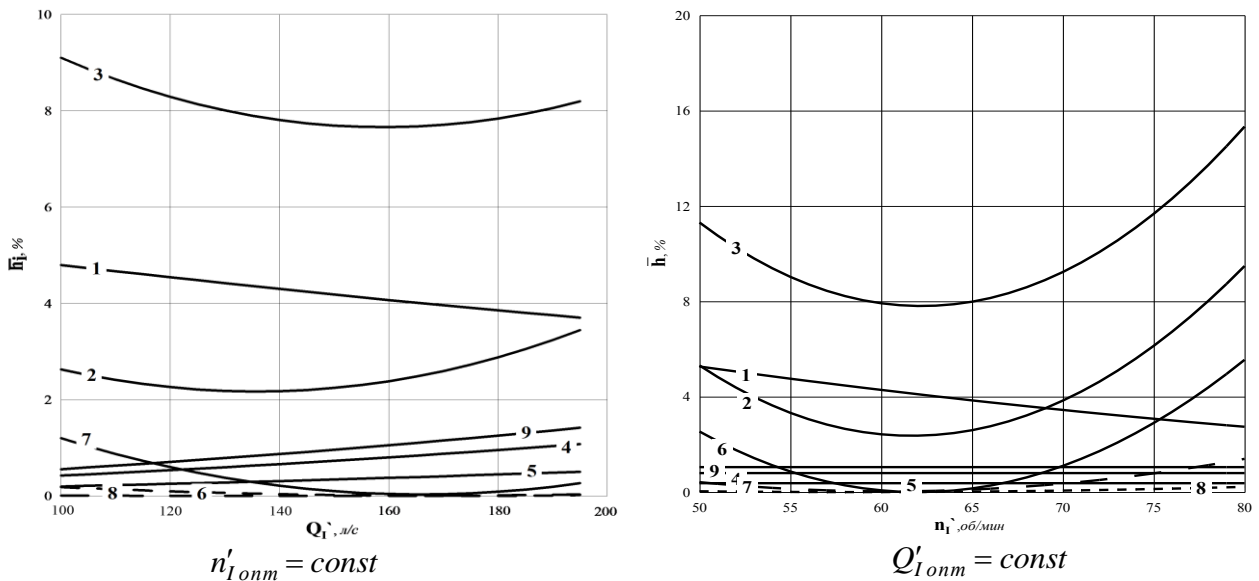


Рисунок 2 – Залежність втрат у ПЧ (з урахуванням дискових втрат):
 1 – сумарні втрати в підводі, 2 – сумарні втрати в РК і відсмоктуючій трубі, 3 – сумарні втрати в усій ПЧ, 4 – втрати тертя в РК, 5 – кромкові втрати, 6 – ударні втрати, 7 – циркуляційні втрати, 8 – втрати від осьового вихору, 9 – втрати тертя у відсмоктуючій трубі

Третій розділ містить результати розроблення підвідної частини РО ГТ на основі комп'ютерного моделювання робочого процесу в ГТ.

У високонапірних РО ГТ втрати енергії в підводі становлять від 3% до 5% у загальному балансі втрат у ПЧ та зростають зі збільшенням напору. Втрати в РК й відсмоктуючий трубі змінюються від 1,5% до 3% і зменшуються зі зростанням напору. Втрати енергії пов'язані зі складною просторовою структурою потоку в проточній частині ГТ.

Підвід РО ГТ складається зі спіральної камери (СК), статора й НА та призначений для створення рівномірного осесиметричного потоку з необхідним закрученням перед РК.

Для зниження втрат у підводі потрібно насамперед узгодити між собою всі елементи підвода за кінематичними параметрами. СК найкраще проектувати за законом $V_u = \text{const}$ з рухомою точкою спряження, що дасть змогу створювати більш рівномірний потік із меншими габаритами спіралі. Кут потоку, який формується СК, повинен бути узгоджений з кутом установалення колон статора. Якщо густота решітки статора є невеликою, то статорну колону для зменшення ударних втрат слід проектувати за потоком, у цьому випадку усереднений кут потоку перед НА визначатиметься СК. Якщо решітка статорних колон досить густа, тобто їх кількість понад 18, то тоді статор може повертати потік, змінюючи усереднений кут перед НА і створювати додаткове закручення потоку. Виходячи з перерахованих умов, проектують форму профілю лопатки НА або вибирають, використовуючи галузеві стандарти.

Роль НА у формуванні енергетичних характеристик високонапірних ГТ з усіх елементів підвода є найбільш значною, оскільки втрати енергії в НА перевищують сумарні втрати в СК та статорі. Наприклад, для ГТ типу РО500 втрати енергії в НА навіть на оптимальному режимі досягають 2,5%. Структура потоку й величина втрат енергії в НА залежить від форми профілю лопатки апарата та від режиму роботи ГТ. Оцінено вплив різних форм профілю лопаток НА на формування оптимального режиму високонапірної РО ГТ.

На рис. 3 наведено різні форми профілів НА. У результаті розрахунку одержано значення деяких видів втрат у НА в ПЧ ГТ. НА із симетричним профілем має мінімальні втрати енергії в області оптимальних витрат, а з лопаткою негативної кривини – в області максимальних витрат (рис. 4, 5).

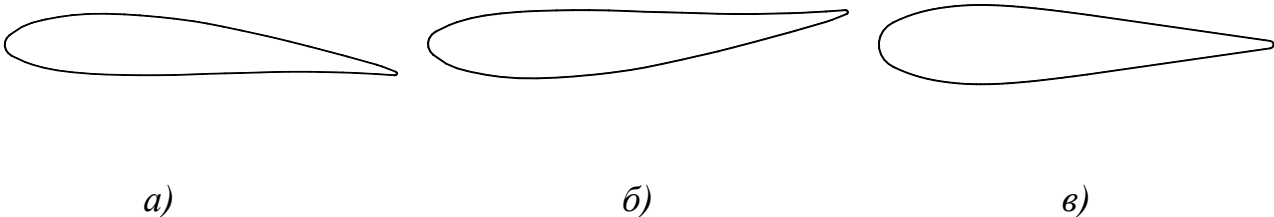


Рисунок 3 – Форми профілів НА: а – додатної кривини;
б – від'ємної кривини; в – симетрична

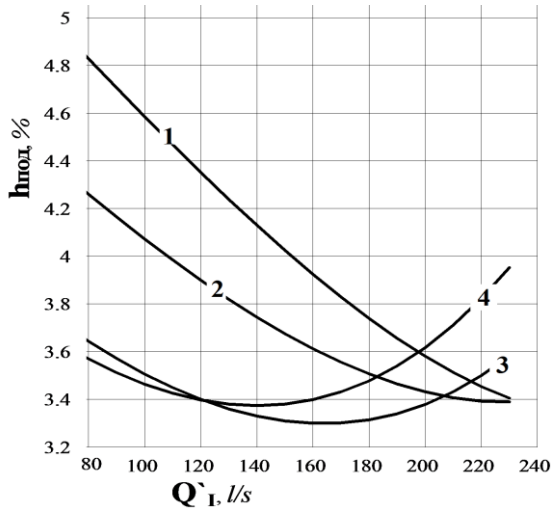


Рисунок 4 – Залежність втрат у підводі $h_{под} = f(Q_1)$ за (n_1^{opt}) для різних типів лопаток НА

1 – лопатка додатної кривини; 2 – симетрична лопатка ОСТ;
3 – лопатка від'ємної кривини; 4 – симетрична лопатка

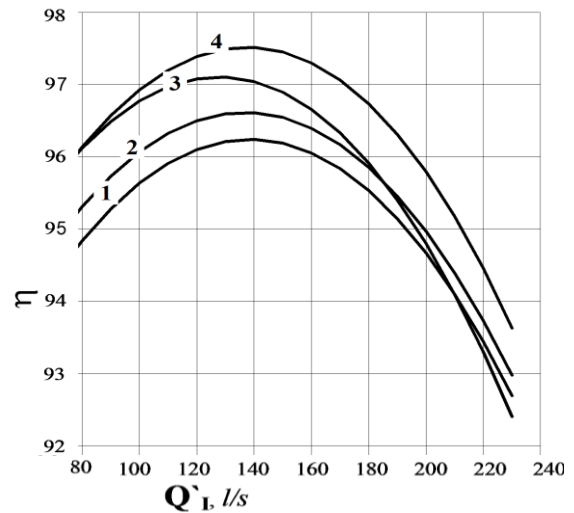


Рисунок 5 – Вплив форми профілю лопатки НА на ККД для різних типів лопатки

Одним із перспективних напрямів удосконалення ПЧ РО ГТ є проектування комбінованих СК (за різними законами змінювання швидкості уздовж спірального каналу), різних за формою колон статора (для кожного квадранта СК). Розроблення такої СК дало змогу створити більш рівномірне поле тиску з мінімальними втратами енергії та габаритами спіралі.

На підставі розрахункових досліджень найкращим визнано варіант, що складається з комбінованої спіралі, статора з плоскими кільцями і симетричного НА. Сумарні втрати в підводі при $Q_{онт} = 0,155 \text{ м}^3/\text{с}$ дорівнюють 3,2%, змінювання втрат залежно від витрати показано на рис. 6.

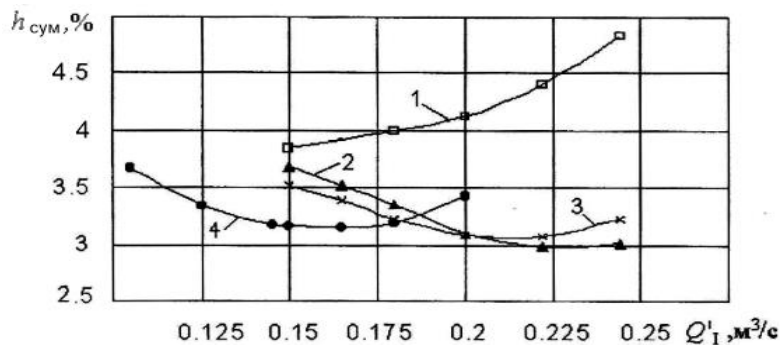


Рисунок 6 – Сумарні втрати енергії в підводі в залежності від типу СК:
1 – $Vu r$, 2 – Vu , 3 – Vu/r , 4 – комбінований

Досліджено два варіанти колон статора: статор з плоскими кільцями й тороїдальний. Рівень втрат у решітках різних варіантів колон статора можна вважати однаковим, тому що перебуває в межах точності розрахунків. Оскільки технологічно простіше виготовляти статор з плоскими кільцями, то в подальших розрахунках розглядався цей варіант.

Отже, розроблені комбінована СК, статор з плоскими кільцями і НА із симетричною лопаткою оптимально узгоджені між собою за усередненим кутом потоку й сумарними втратами енергії. Рівень втрат на оптимальному режимі становить $h_{\text{сум}} = 3,2\%$.

Четвертий розділ присвячено проектуванню й чисельному дослідженню лопатевих систем та комп'ютерному моделюванню тривимірного потоку в ПЧ ГТ. Також наведено розроблений КП, що дає змогу спроектувати РК РО ГТ із високими енергетичними показниками.

Для прискорення процесу проектування розроблено КП, який дає можливість як проектувати нові, так і модернізувати наявні лопатеві системи РК РО ГТ будь-якої швидкохідності. КП має зручний і зрозумілий інтерфейс, різноманітні коригування геометрії РК (змінювання максимальної товщини, кривини, геометричних кутів лопатевої системи та ін.) графічно демонструють ці зміни. Після закінчення проектування лопатевої системи готуються вихідні дані для розрахунку обтікання по прямій решітчастій задачі, модуль якого під'єднаний до КП. Отримані результати використовуються для побудови епюр змінювання швидкості й тиску за профілями лопаті, а також тривимірна проекція розробленої лопатевої системи з демонстрацією змінювання швидкості або тиску вздовж лопаті. Блок-схему розробленого КП наведено на рис. 7.

У загальному випадку процес проектування лопатевої системи РК РО ГТ можна поділити на такі етапи:

- 1) вибір параметрів розрахунку;
- 2) вибір порожнини РК;
- 3) розрахунок і побудова меридіонального потоку в порожнині РК;
- 4) завдання граничних умов, кромки лопаті та ін.;
- 5) профілювання нескінченно тонкої лопаті;
- 6) побудова профілів кінцевої товщини на поверхнях течії, компоновання профілів (побудова лопаті);
- 7) облік стиснення потоку лопатевою системою, коректування меридіонального потоку й повторення пунктів 4–6 (2-е наближення);
- 8) розрахунок параметрів спроектованого РК, його коригування за потреби;
- 9) випускання креслень.

Реалізація цих етапів проведена в розробленому КП. Відзначається можливість в стислий термін спроектувати, розрахувати та спрогнозувати енергетичні характеристики РО РК, це позбавляє проектувальника від потреби виконання рутинних операцій, що значно зменшує час, необхідний для розроблення нового РК. Також КП надає допомогу в розрахунку обтікання лопатевих систем та обробленні одержаних результатів.

Результати розрахунку спроектованої лопатевої системи показано на рис. 8 і в таблиці 1. На рис. 8 зображено сумарні втрати енергії вздовж вихідної кромки лопаті.

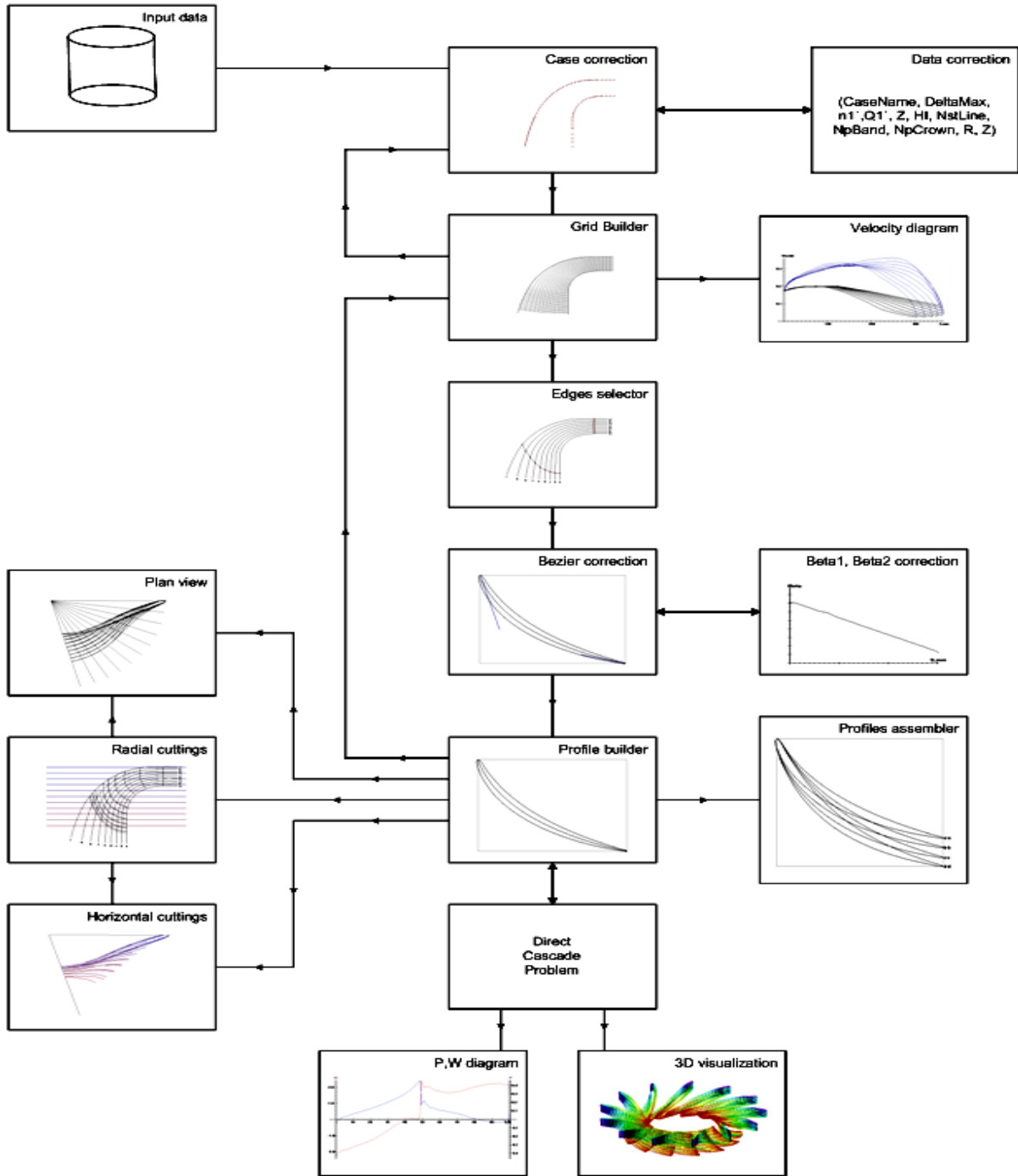


Рисунок 7 – Блок-схема програми проектування й розрахунку РО РК

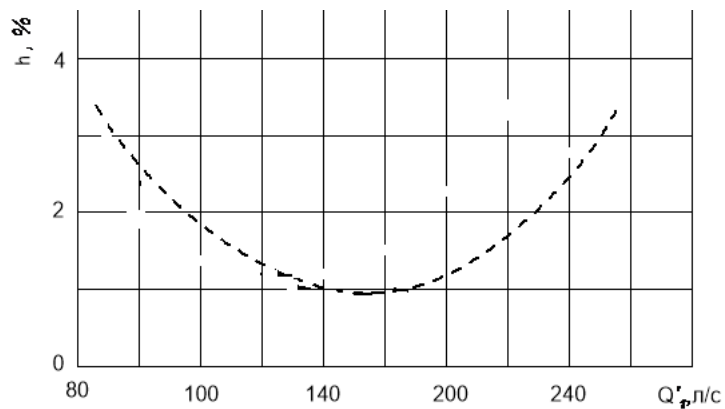


Рисунок 8 – Сумарні втрати енергії (середньоарифметичні вздовж вихідної кромки лопаті) за умови різних витрат

Таблиця 1 – Сумарні втрати енергії для різних решіток РК

$Q', \text{ л/с}$		130	150	170	190
Решітки	A (втулка)	1,029	0,712	0,875	2,463
	B	1,054	0,732	0,950	2,912
	C	1,104	0,740	0,980	2,985
	D	1,344	0,774	0,935	2,898
	E	1,743	0,889	0,916	2,669
	F	1,708	0,904	1,073	3,454
	G	1,738	1,015	1,362	4,577
	H	1,774	1,199	1,774	5,993
	I (обід)	2,270	1,371	1,845	6,002
$\Sigma h_{\text{ср}}, \%$		1,529	0,926	1,190	3,773

Проектування ПЧ РО ГТ поділено на етапи:

- Перший етап передбачає узгодження елементів ПЧ за кінематичними характеристиками, що зумовлює зменшення гідравлічних втрат. Також на першому етапі профілюють лопатеві системи з перевіркою їх плавності.
- На другому етапі виконують розрахунок обтікання отриманих решіток профілів за двовимірними моделями, визначають різні, прийняті в гідротурбіномашинобудуванні категорії втрат: ударні, профільні та циркуляційні. Отримані дані дають змогу оцінити якість спроектованих лопатевих систем.
- Третій етап передбачає побудову прогнозу універсальної характеристики РО ГТ та складання балансу втрат у ній, унаслідок чого можна робити висновки про формування оптимального режиму й рівні ККД у цілому.
- На четвертому етапі проводять аналіз і вибір напрямку модифікації або модернізації отриманої геометрії ПЧ. На завершальній стадії вказаного етапу відбувається оптимізація розробленої ПЧ ГТ.
- П'ятий етап призначений для тривимірного моделювання розробленої ПЧ РО ГТ. За допомогою тривимірних моделей течії досліджують у цілому картину течії в ПЧ з урахуванням взаємного впливу сусідніх елементів та остаточно коригують її геометрію.

Чисельне дослідження потоку в ПЧ виконувалося за допомогою пакету прикладних програм Flow Vision. В Flow Vision чисельне інтегрування рівнянь по просторових координатах проводиться з використанням прямокутної адаптивної локально подрібненої сітки. Такий підхід забезпечує, з одного боку, використання простої рівномірної неадаптивної сітки при вирішенні задач з відносно нескладною геометрією. З іншого боку, з'являється можливість при вирішенні задач зі складною геометрією проводити адаптацію (підстроювання) сітки до особливостей геометрії поблизу границ, а при вирішенні задач з розривними течіями адаптацію за значеннями шуканих функцій, їх градієнтів та ін.

Процедура локального подрібнення в області адаптації передбачає можливість послідовного розподілу, починаючи з вихідної, кожної попередньої ячійки на

4 дрібніші осередки (в тривимірному випадку на 8) до забезпечення виконання умови адаптації (наприклад, досягнення заданої точності обчислення градієнта шуканої функції).

Для дослідження змінювання енергетичних характеристик у ПЧ високонапірної РО ГТ використано стандартну k - ε – модель турбулентності. В якості початкових умов задається швидкість або тиск у вхідному перетині СК. На поверхності і на зовнішній границі прикордонного шару задаються крайові умови:

$$\zeta=0: K=0, \varepsilon=0; \quad \zeta \rightarrow \infty, K \rightarrow K_c(\xi), \varepsilon \rightarrow \varepsilon_c(\xi) \quad (13)$$

Стандартна k - ε – модель турбулентності має наступний вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial k}{\partial t} + \bar{U}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \tau_{ij} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \varepsilon, \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \bar{U}_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} + c_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \tau_{ij} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - c_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k}, \\ \nu_t &= c_\mu k^2 / \varepsilon, \quad c_\mu = 0.09, \quad c_{\varepsilon 1} = 1.44, \quad c_{\varepsilon 2} = 1.92, \quad \sigma_k = 1, \quad \sigma_\varepsilon = 1.3. \end{aligned} \quad (14)$$

У результаті розрахунку встановлено значення абсолютних і відносних тисків у ПЧ високонапірної РО ГТ (рис. 9–11).

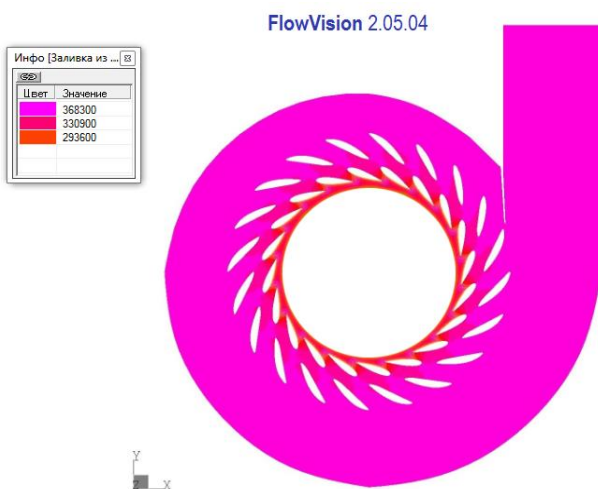


Рисунок 9 – Розподіл тиску в підводі високонапірної РО ГТ

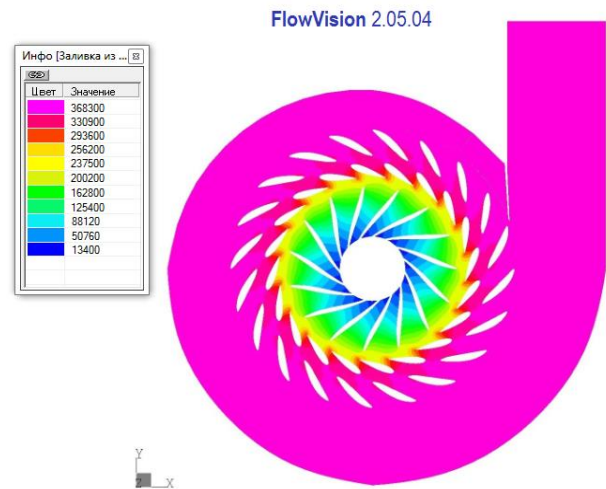


Рисунок 10 – Розподіл тиску в підводі й у РК

У результаті аналізу отриманих даних зроблений висновок про ступінь узгодженості елементів ПЧ РО ГТ і структуру просторового потоку в ній. Розроблена комбінована СК із плоскими статорними кільцями має рівномірний тиск в усьому спіральному каналі, що сприяє зменшенню втрат енергії в підводі. Спроектвані елементи підвода (статор і НА) добре узгоджуються між собою.

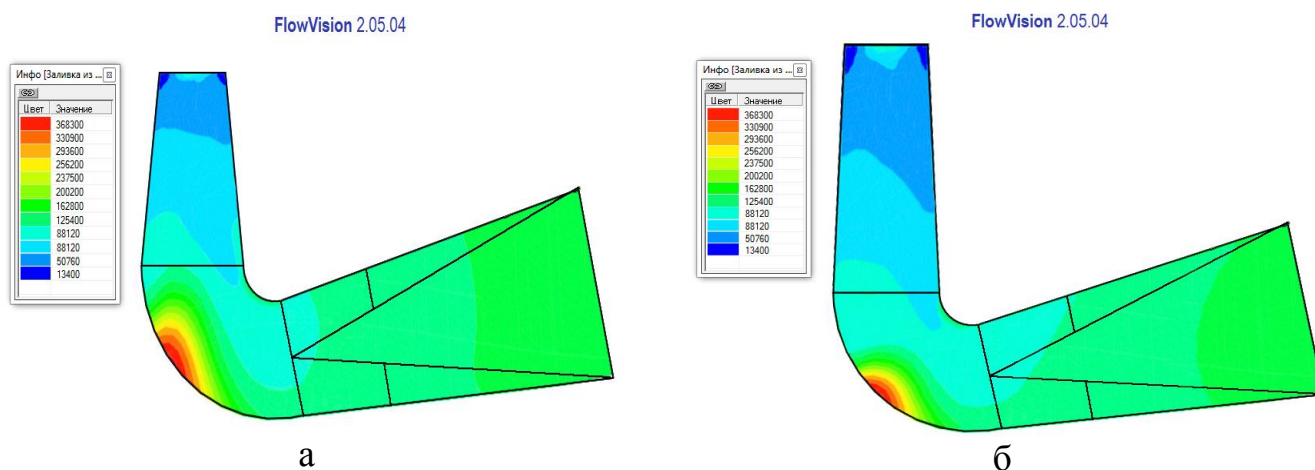


Рисунок 11 – Розподіл тиску у відсмоктувальній трубі
(а – I варіант), (б – II варіант)

У додатках наведено акти впровадження розроблених методик на ВАТ «Турбоатом» та в навчальний процес на кафедрі гідравлічних машин. Також наведено конструкції високонапірних гідротурбін з різними типами статорних колон.

ВИСНОВКИ

Дисертаційну роботу присвячено розв'язанню науково-практичної задачі вдосконалення проточних частин високонапірної радіально-осьової гідротурбіни за рахунок зниження втрат у проточній частині на основі оптимізації геометричних параметрів. Основні результати й висновки:

1. Проведений аналіз наукових джерел засвідчив, що подальше вдосконалення проточної частини високонапірної гідротурбіни вимагає отримання більш точної інформації про вплив її геометричних параметрів на її енергетичні показники. Знання таких закономірностей дає можливість розв'язати задачу оптимізації вибору основних геометричних параметрів елементів проточної частини на стадії її проектування.

2. Удосконалена математична модель робочого процесу високонапірних гідротурбін надала змогу розробити методику, що дозволяє прогнозувати енергетичні характеристики радіально-осьової гідротурбіни на початкових етапах проектування.

3. Спроековано перспективну проточну частину високонапірної радіально-осьової гідротурбіни, аналогів якої немає в номенклатурі, з новими формами елементів підводу гідротурбіни, а саме з комбінованою спіральною камерою, з плоскими кільцями статора. Розрахунковий варіант підвідних органів радіально-осьової гідротурбіни теоретично має мінімальні втрати енергії порівняно з іншими варіантами (сумарні втрати в підводі на оптимальному режимі 3,2%).

4. З урахуванням результатів розрахункових досліджень удосконалено методику проектування радіально-осьових робочих коліс із високими енергетичними показниками (сумарні гідравлічні втрати на оптимальному режимі не перевищують 1%).

5. Розроблено комплекс програм, який дає змогу в стислі терміни спроектувати й розрахувати прийнятний варіант лопатевої системи робочого колеса радіально-осьової гідротурбіни.

6. Дістало подальший розвиток комплексне вирішення задачі щодо створення високоефективної проточної частини на задані параметри, що дає змогу в стислі терміни спроектувати радіально-осьову гідротурбіну з високими енергетичними показниками (рівень гідравлічного ККД – 92–93%).

7. Розроблені алгоритми та методики проектування проточних частин радіально-осьових гідротурбін використовуються при проектуванні високонапірних гідротурбін на ВАТ «Турбоатом», а також впровадженні в навчальний процес на кафедрі «Гідравлічні машини». В результаті застосування запропонованих алгоритмів і методик досягається підвищення енергетичних показників гідротурбін за рахунок зниження втрат енергії у підводі.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Гулахмадов А. А. Вихревая структура потока и анализа различных математических моделей потока в каналах высоконапорных радиально-осевых гидротурбин РО 400, РО 500 и РО 600 / О. В. Потетенко, В. Э. Дранковский, А. М. Гришин, Е. С. Крупа, О. С. Вахрушева, А. А. Гулахмадов // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2012. – №3/8 (57). – С. 50–57.

Здобувач проаналізував причини виникнення вихрової структури потоку та підвищених втрат енергії, а також розглянув різні математичні моделі потоку в каналах високонапірних РО гідротурбін.

2. Гулахмадов А. А. Анализ потерь энергии в высоконапорных радиально-осевых гидротурбинах, обусловленных характерными особенностями структуры потока в проточной части / О. В. Потетенко, В. Э. Дранковский, А. А. Гулахмадов [и др.] // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ», 2012. – №7. – С. 151–159.

Здобувач на основі всебічних експериментальних досліджень проаналізував вихрову структуру потоку в проточних частинах модельних гідротурбін радіально-осьового типу на натиски 300–600 метрів.

3. Гулахмадов А. А. Рабочий процесс радиально-диагональной гидротурбины (РОД). Методика построения прогнозной универсальной характеристики / О. В. Потетенко, А. М. Гришин, А. А. Гулахмадов [и др.] // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ», 2012. – № 33. – С. 109–119.

Здобувач описав робочий процес РОД гідротурбіни, а також виклав методику побудови прогновної універсальної характеристики для гідротурбін із багаторядними лопатевими системами.

4. Гулахмадов А. А. Создание высокоэффективных проточных частей высоконапорных радиально-осевых гидротурбин / К. А. Миронов, И. И. Тыньянова, А. А. Гулахмадов // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ». – 2012. – №50. – С. 127–133.

Здобувач проаналізував вплив геометричних параметрів лопатевої системи робочого колеса й форми профілів лопатки напрямного апарата на формування енергокавітаційних якостей гідротурбіни.

5. Гулахмадов А. А. Выбор типа гидротурбины при проектировании высоконапорной ГЭС / К. А. Миронов, Л. К. Яковлева, А. А. Гулахмадов // Промислова гідравліка і пневматика. – Вінниця : ВНАУ. – 2014. – №1 (43). – С. 51–54.

Здобувач обґрунтував вибір типу високонапірної гідротурбіни й розглянув питання, пов'язані з проектуванням елементів проточної частини реактивної гідротурбіни.

6. Гулахмадов А. А. Совершенствование проточных частей радиально-осевых гидротурбин / К. А. Миронов, Л. К. Яковлева, А. А. Гулахмадов // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ». – 2014. – №1 (1044). – С. 146–151.

Здобувач описав розроблений комплекс програм, який застосовується для проектування й розрахунку проточних частин радіально-осьових гідротурбін та для побудови їх прогнозної універсальної характеристики.

7. Гулахмадов А. А. Ускорение процедуры проектирования и расчёта рабочих колес радиально-осевых гидротурбин / К. А. Миронов, Л. К. Яковлева, А. А. Гулахмадов // Сборник научных трудов SWorld. – Одесса, 2013. – № 6. – С. 23–27.

Здобувач навів блок-схему розробленої програми й описав етапи проектування лопатевих систем робочих коліс радіально-осьових гідротурбін.

8. Гулахмадов А. А. Усовершенствование рабочих колес высоконапорных радиально-осевых гидротурбин / К. А. Миронов, Л. К. Яковлева, А. А. Гулахмадов // Тези доповідей XX Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: Наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Харків : НТУ «ХПІ», 2012. – С. 273.

Здобувач розглянув питання модернізації наявних робочих коліс високонапірних радіально-осьових гідротурбін, а також питання створення нових конкурентоспроможних робочих коліс.

9. Гулахмадов А. А. Создание конкурентоспособных рабочих колес высоконапорных радиально-осевых гидротурбин / К. А. Миронов, И. И. Тыньянова, А. А. Гулахмадов // Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования. Программа и CD-ROM. Труды XIV Международной научно-технической конференции (Змиїв, 2012). – Харьков : Институт проблем машиностроения НАН Украины, 2012.

Здобувач проаналізував формування оптимального режиму високонапірної радіально-осьової гідротурбіни, та надав результати побудови прогнозної характеристики гідротурбіни й баланс втрат у ній.

10. Гулахмадов А. А. Разработка методики и алгоритма расчёта радиально-осевых рабочих колес / К. А. Миронов, Л. К. Яковлева, А. А. Гулахмадов // Тези доповідей XXI Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: Наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Харків : НТУ «ХПІ», 2013. – С. 306.

Здобувач розробив методику й алгоритм розрахунку радіально-осьових робочих коліс.

11. Гулахмадов А. А. Роль подвода в формировании энергетических характеристик высоконапорных гидротурбин / К. А. Миронов, А. А. Гулахмадов // Материали Международной научно-технической конференции ПАО «Укргідропроект». – Харьков. – 2013.

Здобувач розглянув вплив деяких видів гідравлічних втрат на параметри оптимального режиму, а також їх вплив на характер змінювання ККД.

12. Гулахмадов А. А. Методика проектирования проточных частей радиально-осевых гидротурбин / К. А. Миронов, Л. К. Яковлева, А. А. Гулахмадов // Гідроаеромеханіка в інженерній практиці. Матеріали XVIII Міжнародної науково-технічної конференції. – Київ, 2013. – С. 136.

Здобувач розробив методику проектування проточних частин радіально-осьових гідротурбін, яка ґрунтується на спільному розв'язанні дво- і тривимірних моделей робочого процесу.

АНОТАЦІЇ

Гулахмадов А. А. Підвищення ефективності робочого процесу високонапірних гідротурбін шляхом вдосконалення проточних частин. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2014.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-практичної задачі – удосконаленню ПЧ РО ГТ.

У дисертації проаналізовано праці, присвячені розв'язанню прямої та оберненої задач теорії робочого процесу, показано, що для вдосконалення ПЧ потрібні знання про закономірності формування енергетичних характеристик залежно від змінювання геометричних і режимних параметрів. Також наведено результати чисельного моделювання впливу геометричних і режимних параметрів на енергетичні характеристики РО ГТ.

Удосконалено математичну модель втрат у ПЧ високонапірних РО ГТ, що відбиває залежності коефіцієнтів деяких видів гідравлічних втрат від геометричних і режимних параметрів. Показано її застосування для аналізу формування енергетичних характеристик, чисельного дослідження впливу геометричних параметрів ПЧ на енергетичні показники ГТ, узгодження елементів ПЧ у процесі її формування.

Розроблено перспективну конструкцію підвідних органів, яка забезпечує рівномірний тиск із мінімальними втратами енергії перед РК.

На основі розробленого опису робочого процесу складено алгоритми й виконано їх програмну реалізацію у вигляді ПК, що дає змогу в стислі терміни спроектувати нове РК РО ГТ з високими енергетичними показниками, а також виконати розрахунок обтікання решіток профілів і побудувати прогнозу універсальну характеристику.

Наведено результати розрахунку тривимірного в'язкого потоку в ПЧ високонапірної ГТ РО 500 з використанням пакету прикладних програм Flow Vision для моделі діаметром РК $D_I = 500$ мм.

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

Гулахмадов А. А. Повышение эффективности рабочего процесса высоконапорных гидротурбин путем совершенствования проточных частей. На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.17 – гидравлические машины и гидропневмоагрегаты. Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2014.

Диссертационная работа посвящена решению научно-практической задачи – совершенствованию ПЧ РО ГТ.

В диссертации проанализированы работы, посвященные решению прямой и обратной задач теории рабочего процесса, показано, что для совершенствования ПЧ необходимы знания о закономерностях формирования энергетических характеристик в зависимости от изменения геометрических и режимных параметров. Также приведены результаты численного моделирования влияния геометрических и режимных параметров на энергетические характеристики РО ГТ.

Разработана математическая модель потерь в ПЧ высоконапорной РО ГТ, отражающая зависимости коэффициентов отдельных видов гидравлических потерь от геометрических и режимных параметров. Показано ее применение для анализа формирования энергетических характеристик, численного исследования влияния геометрических параметров ПЧ на энергетические показатели ГТ, согласования элементов ПЧ в процессе ее формирования.

С помощью компьютерного моделирования установлены общие закономерности влияния обобщенных геометрических параметров подводной части и РК на параметры оптимального режима и вид энергетических характеристик. Для высоконапорной гидротурбины расчетными исследованиями было установлено, что наибольшие потери энергии связаны с подводными органами ГТ.

Разработана новая конструкция подводных органов, обеспечивающая равномерное давление с минимальными потерями энергии перед РК.

Приведена методика формирования ПЧ, заключающаяся в определении гидродинамических параметров ее элементов, обеспечивающих заданные параметры оптимального режима.

На основе разработанного описания рабочего процесса составлены алгоритмы и выполнена их программная реализация в виде КП, позволяющего в сжатые сроки спроектировать новое РК РО ГТ с высокими энергетическими показателями, а также выполнить расчет обтекания решеток профилей и построить прогнозную универсальную характеристику.

Приведены результаты расчета трехмерного вязкого потока в ПЧ высоконапорной ГТ РО 500 с использованием пакета прикладных программ Flow Vision для модели диаметром РК $D_1 = 500\text{мм}$.

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

Gulahmadov, A.A. Improving efficiency of high-pressure hydraulic turbines workflow through developing the flow parts. Manuscript.

A PhD degree thesis (technical sciences), Ukrainian speciality code: 05.05.17 - Hydraulic machines and hydropneumatic units. Kharkiv Polytechnic Institute, Kharkiv, 2014.

The thesis discusses the problem of developing the flow parts of the Francis turbine.

The thesis analyses previous works devoted to the solution of direct and inverse problems of the theory of workflow; it is shown that in order to improve the flow parts it is crucial to establish the dependence of power characteristics on the changes in geometric and operational parameters. The researcher also provides findings on numerical simulation of influence of geometrical and operational parameters on the power characteristics of Francis turbines.

The author develops mathematic model of loss in the work flow of the high-pressure Francis turbine, reflecting dependence of the coefficients of certain types of hydraulic losses on the geometrical and operational parameters. The paper demonstrates how this model is applied to analyze how such power characteristics are formed, how it is used for the numerical research of the influence of geometric parameters of the flow parts on the power performance of the Francis turbine, how workflow elements are matched whilst it is formed.

The general regularities of the influence of generalized geometric parameters of the inlet part and the runner on the parameters of the optimal mode and the type of power characteristics are established with the help of numerical experiments. By means of computational analysis for high-pressure hydraulic turbine, it was found that the greatest power loss occurs in the inlet part of the Francis turbine.

The author develops a new design for the inlet parts that may ensure uniform pressure with minimal loss before the intake into the runner.

The research offers a technique for shaping the flow parts, determining the hydrodynamic parameters of the flow parts elements to provide the desired parameters of the optimal mode.

Based on description of the workflow, the researcher composes algorithms and develops their software implementation, which allows to quickly design a new runner for the Francis turbine with high power performance, calculate cascade flow and build predictive universal characteristics.

The author provides calculations of the three-dimensional viscous flow in the flow parts of a high-pressure Francis turbine 500 using Flow Vision software package given the diameter value of the model runner is 500 mm.

Key words: Francis turbine, runner, flow parts, geometric and operational parameters, energy indicators.



Підписано до друку 02.10.2014 р. Формат 60x84¹/₁₆.
Папір офсетний. Друк - різнографія. Умовн. друк. арк. 0,9.
Гарнітура Times New Roman. Наклад 100 прим. Зам. №

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