

## **ВІДГУК**

офіційного опонента Рогового Андрія Сергійовича  
на дисертаційну роботу Рябової Світлани Олександрівни  
**«Гідродинамічне удосконалення поворотно-лопатевої гідротурбіни на основі  
використання просторового профілювання лопатей робочого колеса»,**  
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати

### **Актуальність теми.**

На сьогоднішній день одним з пріоритетних напрямів розвитку гідроенергетики України є модернізація морально і фізично застарілого енергетичного обладнання гідроелектростанцій. Серед гідротурбін, що застосовуються на гідроелектростанціях Дніпровського та Дністровського каскадів, найбільшу кількість мають осьові поворотно-лопатеві гідротурбіни. На сьогодні 55 агрегатів модернізовано, а 21 агрегат відпрацював свій нормативний ресурс і не відповідає повною мірою сучасним вимогам до енергосистеми і потребує модернізації.

Тому, удосконалення лопатевих систем робочого колеса є актуальною задачею, яка вирішена автором за рахунок просторового профілювання лопатей, що дозволило покращити енергетичні характеристики проточної частини низьконапірної осьової гідротурбіни.

Хоча експериментальні дослідження дозволяють отримати найбільш надійні і достовірні дані щодо визначення енергетичних та кавітаційних показників, вони не дозволяють отримати повної картини робочого процесу в проточній частині гідротурбіни. Можливості теоретичного детального дослідження процесів течії рідини в проточній частині турбін значно розширилися за розвитку методів математичного моделювання, числових методів та програмного забезпечення.

Актуальність теми роботи підтверджується так само й тим, що вона пов'язана з виконанням тематик науково-дослідницьких робіт Національної академії наук України: «Розробка наукових основ вирішення пов'язаних завдань аерогідродинаміки і пружних коливань з використанням ефективних методів розрахунку і експериментальних досліджень в'язких течій в турбомашинах» (державний реєстраційний номер 0105U00264); «Удосконалення робочих процесів в проточних частинах енергетичних машин на основі методів математичного і фізичного моделювання просторових в'язких течій рідини і газу» (державний реєстраційний номер 0114U001440).

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.**

Положення та висновки дисертаційної роботи базуються на результатах експериментальних та аналітичних досліджень, які кількісно та якісно не суперечать результатам досліджень попередніх авторів. Результати числового моделювання процесів в проточній частині гідротурбіни спираються на аналіз та співставлення результатів числового і фізичного експерименту, проведеного відповідно до вимог діючих стандартів. Припущення, покладені в основу теоретичних досліджень є коректними. Впровадження у промисловість результатів досліджень підтверджує

достовірність отриманих висновків та рекомендацій.

#### **Достовірність результатів досліджень.**

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується коректністю постановок для вирішення математичних задач, застосуванням стандартних процедур математичного аналізу й методів математичної фізики, відповідністю змісту математичних конструкцій фізичній суті описуваних процесів. Наукові результати здобувача успішно використані під час розробки проточних частин низьконапірних осьових гідротурбін.

**До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:**

- отримало подальший розвиток числового моделювання впливу параметрів потоку на вході в розрахункову область на енергетичні показники проточної частини та встановлено діапазон режимів роботи осьової турбіни, який забезпечує рівномірний розподіл гідродинамічних величин в окружному напрямку на вході в робоче колесо;

- вперше запропоновано метод до просторового профілювання лопатей робочих коліс осьових гідротурбін, який засновано на використанні складних навалів в осьовому й окружному напрямках. Цей метод дозволяє підвищити ефективність проточної частини осьової гідротурбіни;

- вперше встановлено закономірності впливу навалів (в окружному та осьовому напрямках) лопатей робочих коліс осьової гідротурбіни на характеристики потоку та енергетичні показники, які мають бути використані при проектуванні та модернізації проточних частин.

**Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.**

Автоматизований метод просторового профілювання лопатей робочих коліс, заснований на застосуванні складних осьових, окружних і комбінованих навалів, який запропоновано автором дозволяє підвищити ефективність гідротурбін, дає можливість підвищити якість проектування проточних частин як нових ГЕС так і при модернізації існуючих ГЕС.

З метою подальшого удосконалення проточної частини автор встановив закономірності впливу осьових та окружних навалів лопатей робочих коліс на характеристики потоку та гідродинамічні показники в широкому діапазоні режимних параметрів, які можуть бути використані при проектуванні та модернізації осьових гідротурбін.

Здобувачем розроблено лопатеву систему робочого колеса з комбінованим навалом, яка має покращені енергетичні показники та може бути використана при модернізації гідротурбін Кременчуцької ГЕС.

#### **Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.**

Основні положення та результати дисертаційної роботи здобувача опубліковано в 11 наукових працях, у тому числі 9 публікацій у наукових фахових виданнях України; 2 – у матеріалах конференцій. Рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам.

#### **Оцінка змісту дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота Рябової С.О. складається зі вступу, чотирьох розділів,

висновків, списку використаних джерел, 2 додатків.

**У вступі** обґрунтовано актуальність та доцільність дисертації, сформульовано її мету і задачі, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну та практичну значимість роботи, подана інформація про апробацію та публікації основних наукових положень, що містить дисертація.

**У першому розділі** проаналізовано сучасний стан гідродинамічного удосконалення проточних частин потужних осьових поворотно-лопатевих гідротурбін.

Автор детально проаналізував основні напрямки і підходи до гідродинамічного удосконалення та розрахунку поворотно-лопатевих гідротурбін із згадуванням підходів початку двадцятого сторіччя, чим переобтяжив розділ.

На підставі проведеного аналізу обрано напрямки та методи дослідження, які полягають в підвищенні ефективності гідротурбін за допомоги просторового профілювання лопатей робочого колеса. Однак, бажано було б провести огляд проблем моделювання течії у гідротурбінах, допущень, візуалізації, використаних моделей турбулентності та похибок, які виникають при моделювання тривимірних течій.

**Другий розділ** присвячено теоретичним та експериментальним дослідженням течії в поворотно-лопатевих гідротурбінах. Наведено результати порівняння результатів експериментальних досліджень та тривимірних розрахунків із допомогою моделі турбулентності SST за інтегральними параметрами такими як ККД та кавітаційні показники.

Автором представлено опис енерго-кавітаційного стенду ПАТ «Турбоатом», засобів, методики вимірювань та розрахунку основних параметрів; наведено методику проведення випробувань гідротурбін на стенді.

Проаналізовано результати розрахункових та експериментальних досліджень проточних частин модельних гідротурбін ПЛ20. Визначено, що з метою удосконалення проточної частини ПЛ20/3271у і можливого використання її для модернізації Кременчуцької ГЕС доцільним є проведення числових експериментів течії рідини в усіх елементах проточної частини для більш детального дослідження робочого процесу.

**У третьому розділі** наведено результати числового дослідження просторової течії в'язкої нестисливої рідини в проточній частині гідротурбіни ПЛ20/3271 Кременчуцької ГЕС.

Отримано та проаналізовано характеристики потоку в усіх елементах проточної частини гідротурбіни на всіх режимах. Виявлено особливості течії в спіральній камері, направляючому апараті, робочому колесі та відсмоктувальній трубі. Побудовано поля швидкостей та тисків. Для оцінки кавітаційних характеристик визначено зони з мінімальними значеннями тиску на стороні розрідження лопаті, що дозволило знайти величину локального кавітаційного коефіцієнту турбіни. Зіставлення розрахункових енергетичних і кавітаційних показників добре кількісно узгоджується з результатами експериментальних досліджень на гідродинамічному стенді.

**У четвертому розділі** наведено результати числового моделювання впливу просторового профілювання лопатей робочого колеса осьової гідротурбіни за

допомогою складних окружних, осьових і комбінованих навалів на структуру течії та інтегральні енергетичні показники проточної частини гідротурбіни.

Автором встановлено, що застосування периферійного окружного і осьового навалів має незначний вплив на структуру потоку в області перед робочим колесом і істотний – за ним, на вході в відсмоктувальну трубу: при цьому помітно змінюється вигляд епіюр тиску на поверхнях лопаті, особливо в районі вхідних кромek. У випадку осьових навалів зміщення периферійної частини лопаті вниз по потоку призводить до збільшення перепаду тиску по всій лопаті за рахунок його підвищення на лицьовій стороні, що дає можливість вирівняти розподіл повного тиску по ширині каналу з метою зменшення поперечних течій. Крім того, осьовий навал впливає на розподіл швидкості в відсмоктувальній трубі і на характер відновлення тиску в ній.

В результаті досліджень впливу комбінованого периферійного навалу (одночасно в осьовому та окружному напрямках) розроблено перспективну лопатеву систему робочого колеса, що дозволило підвищити значення максимального ККД сучасної вискоефективної гідротурбіни ПЛ20/3271у Кременчуцької ГЕС на 1,09 % та потужності на 3,17 %.

Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані достатньо чітко і виразно та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел досить повний і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації із 201 найменування.

Зміст автореферату відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває внесок здобувача в наукові результати та практичну цінність роботи.

#### **По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:**

1. Доцільно було крім SST-моделі турбулентності (Розділ 2, п. 2.1), яка добре себе зарекомендувала при розрахунках обмежених стінками потоків, спробувати використати інші моделі турбулентності або коригування для SST-моделі. Наприклад, у закордонних джерелах є випадки успішного використання SST-моделі із корекцією на кривизну ліній струму та обертання потоку (Smirnov, Škerlavaj) або гібридних моделей (Škerlavaj) для течій в проточній частині гідротурбіни.

2. Аналіз результатів числового моделювання досить ускладнено внаслідок відсутності параметрів примежового шару, що автор застосував під час побудови сіток, таких як  $y^+$  та інші, які можуть мати вплив на точність розрахунку течії (Розділ 3, п.3.1).

3. Порівняння результатів розрахунку з результатами фізичних експериментів доцільно було провести шляхом порівняння із більшою кількістю експериментальних даних, наприклад за розподілом швидкостей та тисків при різних режимах роботи гідротурбіни, а не тільки за ККД та кавітаційними показниками.

4. Після проведення дослідження впливу просторового профілювання лопатей за допомогою складних окружних, осьових та комбінованих навалів доцільно було перевірити результати розробки перспективної лопатевої системи гідротурбіни експериментальним шляхом, а також навести дані щодо впливу навалів на показники міцності робочого колеса.

5. Оцінку достовірності математичного моделювання краще було б провести за статистичними критеріями Фішера, Стьюдента та ін., що дозволило більш обґрунтовано стверджувати про адекватність розрахунків.

6. За дисертацією та авторефератом є зауваження редакційного характеру. В окремих формулах відсутні позначення (стор. 51  $\tilde{\Pi}_{7max}$ ). Не вдале використання термінів. Наприклад, в різних розділах дисертації зустрічаються терміни «шестикутний елемент» та «шестигранний елемент» відносно будови сіток, але це є різні речі.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

## ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Рябової Світлани Олександрівни «Гідродинамічне удосконалення поворотно-лопатевої гідротурбіни на основі використання просторового профілювання лопатей робочого колеса» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка у розв'язує важливу наукову задачу, суть якої полягає в покращенні енергетичних характеристик проточної частини низьконапірної осьової гідротурбіни за рахунок просторового профілювання лопатей робочого колеса. Дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», щодо кандидатських дисертацій, а здобувач Рябова Світлана Олександрівна, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати.

Офіційний опонент  
доцент кафедри теоретичної  
механіки і гідравліки  
Харківського національного  
автомобільно-дорожнього університету  
кандидат технічних наук, доцент

AP-J

А.С. Роговий



Примуско Р.Ф.