

УДК 621.438.2

## Дослідження струминно-реактивної розширювальної машини каналного типу в програмному комплексі ANSYS CFX

О.С. Мелейчук<sup>1</sup>, С.М. Вансєв<sup>1</sup>, С.К. Корольов<sup>2</sup>

1 – Сумський державний університет, Суми, Україна

2 – Фізична особа – підприємець (ФОП) Корольов Сергій Костянтинович

***Анотація.** У сучасних реаліях важливість енергозбереження, використання енергоефективних технологій та децентралізації енергопостачання стає ключовим завданням для підвищення національної безпеки. Одним з можливих рішень є створення турбоагрегатів на основі турбін нетрадиційного виконання, а саме струминно-реактивних турбін (СРТ) каналного типу. Робіт, присвячених їх експериментальним дослідженням, відомо небагато. У зв'язку з чим, виникає потреба в швидкому дослідженні даного типу турбін. Одним із перспективних підходів є використання сучасних програмних комплексів із застосуванням методів обчислювальної гідродинаміки, таких як ANSYS CFX.*

*У статті представлено результати чисельного моделювання СРТ каналного типу в програмному комплексі ANSYS CFX. Верифікація результатів здійснювалася шляхом порівняння з проєктними розрахунками та натурними випробуваннями, що підтвердило достовірність отриманих характеристик СРТ. Результати роботи будуть використані для подальшого дослідження та оптимізації геометрії розширювальних турбомашин для створення турбогенераторів на їх основі.*

***Ключові слова:** Енергозбереження; струминно-реактивна турбіна; чисельні дослідження; ANSYS CFX; методи обчислювальної гідромеханіки.*

**Вступ.** В сучасних реаліях України, є гостра потреба в розробці енергоефективних рішень [1] та у створенні енергетичних комплексів малої потужності для автономних та індивідуальних споживачів, тобто децентралізація енергопостачання для підвищення національної безпеки.

Науковий та технологічний прогрес останніх десятиліть дозволив розробити та удосконалити нові види та конструкції турбінного обладнання, які належать до конструкцій нетрадиційного виконання. До таких турбін можна віднести вихрову турбіну та струминно-реактивну турбіну (СРТ), що мають значний потенціал для створення турбогенераторів потужністю до 500 кВт для забезпечення промислових, комунальних або побутових споживачів енергією [2], [3]. Класичні методи дослідження [2], [4], [5] які передбачають експериментальне вивчення об'єкта, мають деякі недоліки, а саме: значні капітальні витрати на виробництво; тривалий час налаштування та проведення експерименту; необхідну наявність приміщення для проведення дослідження.

За останні десятиліття дедалі більшу популярність набирають програмні комплекси з використання методів обчислювальної гідромеханіки для дослідження фізичних процесів, що протікають в проточній частині СРТ. Приклади використання наведено в роботах [3], [6], [7]. Особливу популярність і зацікавлення серед науковців здобув програмно-обчислювальний комплекс ANSYS та його спеціалізований застосунок CFX. Програмний комплект ANSYS CFX має гнучкий графічний інтерфейс із широкими можливостями налаштування, можливість комбінувати різні налаштування під час підготовки розрахунків та для аналізу отриманих результатів, що відповідає потребам дослідників.

**Постановка задачі.** Для дослідження в програмному комплексі ANSYS CFX використовувався дослідний зразок парового турбогенераторного агрегату номінальною потужністю 475 кВт ПТГА-СРТ-475, до складу якого входить дві струминно-реактивні турбіни. На відміну від проточних частин, що досліджувалися у роботах [3], [6], [7], дана проточна частина СРТ є каналного типу. Геометрія розрахункової області представляє собою внутрішній об'єм проточної частини СРТ та представлена на рисунку 1.

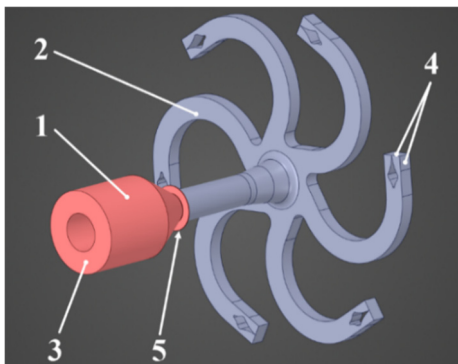


Рис. 1. Геометрія розрахункової області: 1 – статорна розрахункова область; 2 – роторна розрахункова область; 3 – вхід у статорну частину; 4 – вихід з роторної частини; 5 – зазор між статорною та роторною частинами

Проточна частина СРТ розділена на статорну розрахункову область (1) та роторну розрахункову область (2). Геометрія розрахункової області задавалася за допомогою таких граничних умов: 3 – вхід у статорну частину; 4 – стінка статорної частини; 5 – зазор між роторною та статорною частинами; всі інші поверхні представлені у вигляді стінок.

Для роторної та статорної частин була побудована комбінована розрахункова сітка, що складається з тетраедральних та гексагональних елементів. Загальна кількість елементів складає приблизно 12 млн. елементів. В пришаровій зоні біля стінок, в зоні зазору між ротором та статором та навколо соплового апарату було виконано локальне ущільнення сітки для підвищення точності обчислення.

Відповідно до реальних умов експлуатації дослідного зразка на вході задавались значення повного тиску 1822400 Па та температури 275,15° С. На виході з роторної частини та в зазорі між статором і ротором задавались значення надлишкового тиску 0 Па та температури 146,41° С. Робоча речовина – водяна пара. Для обчислень була обрана SST (Menter’s Shear Stress Transport) модель турбулентності. Опорне значення тиску склало – 151325 Па. Модель передачі тепла – Total Energy. Частота обертання роторної частини задавалась в діапазоні від 0 до 25000 об/хв включно, з кроком 5000 об/хв.

**Результати розрахунків.** Як критерії збіжності приймалися наступні умови: 1) досягнення значення максимальної неузгодженості параметрів течії, а саме імпульсу та моменту, нижче значення  $1 \cdot 10^{-4}$ ; 2) умова зменшення значень дисбалансу масових витрат, максимальне наближення кривих дисбалансу до нульового значення; 3) умова сталості значення крутного моменту з часом.

У результаті всіх розрахунків були отримані основні характеристики СРТ. Дані наведені в таблиці нижче.

Таблиця

Розраховані характеристики СРТ

Характеристики	Частота обертання, об/хв					
	0	5000	10000	15000	20000	25000
Масові витрати на вході, кг/с	1,01509	1,01884	1,02205	1,03038	1,03569	1,03851
Масові витрати на виході, кг/с	0,05624	0,05489	0,05262	0,04689	0,03748	0,02454
Масові витрати через зазор, кг/с	0,95506	0,95727	0,96836	0,98089	0,9949	1,00653
Сумарні масові витрати на виходах, кг/с	1,0113	1,01216	1,02098	1,02778	1,03238	1,03107
Відносна похибка, %	0,37	0,66	0,11	0,25	0,32	0,72
Крутний момент, Н·м	116,89	109,09	102,58	96,27	90,16	83,84
Потужність, кВт	0	57,09	107,36	151,14	188,74	219,38
ККД	0	0,11	0,205	0,286	0,352	0,404

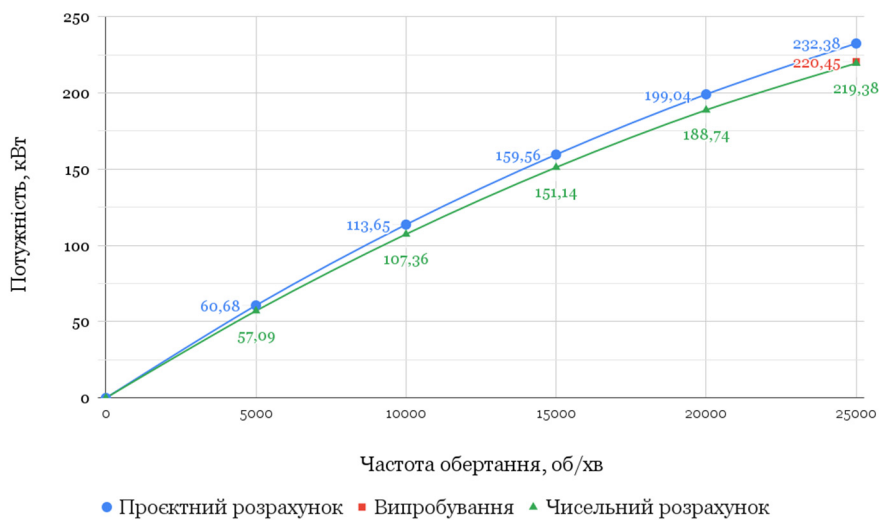
Верифікація отриманих результатів чисельних розрахунків проводилась за результатами проектних розрахунків в програмному комплексі газодинаміки та за результатами натурних випробувань дослідного зразка парового турбогенераторного агрегату ПТГА-СРТ-475. Зняття параметрів агрегату проводилось для зазначених вище параметрів та при частоті обертання ротора 25000 об/хв. Загальна потужність агрегату склала 404 кВт, масові витрати водяної пари – 7,577 т/год (2,1047 кг/с).

Для зручності порівняння отриманих результатів, отриманих під час натурних випробувань, з результатами чисельних досліджень та проектним розрахунком, результати натурних випробувань були перераховані з урахуванням того, що:

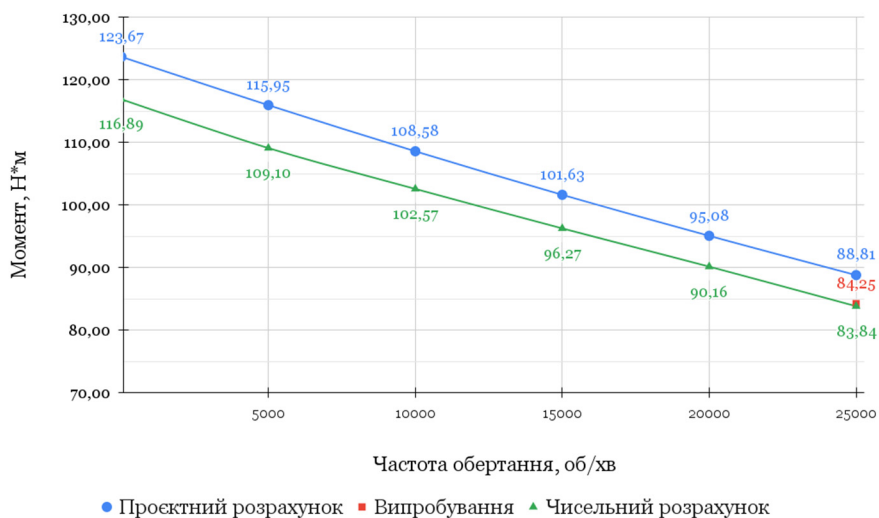
- 1) паровий турбогенераторний агрегат містить в складі дві СРТ каналного типу;
- 2) необхідно врахувати ККД електрогенератора та механічний ККД агрегату в цілому.

Враховуючи ці два фактори при перерахунку потужності, для подальшого порівняння, складає 220,45 кВт та крутний момент – 84,25 Н·м.

Графічне порівняння потужності та крутного моменту для чисельних, проектних розрахунків та випробування представлено на рис. 2 та 3 відповідно.



**Рис. 2. Залежність потужності СРТ від частоти обертання**



**Рис. 3. Залежність крутного моменту СРТ від частоти обертання**

## Висновки

В даній роботі вперше проведено розрахунки СРТ каналного типу в програмному комплексі ANSYS CFX. В результаті проведених досліджень були отримані робочі характеристики СРТ. Отримані результати показали розбіжність з результатами натурних випробувань не більше 0,5 %.

У подальшому планується провести детальний аналіз характеру течії робочої речовини в проточній частині СРТ для подальшої оптимізації геометрії проточної частини та підвищення ККД в цілому.

## Список літератури

1. С. М. Ванєєв, Г.В. Бондаренко, С. С. Мелейчук, В. М. Бага, Ю.С. Мерзляков, В. М. Козін та інші., 'Вдосконалення методів розрахунку та дослідження енергетичних машин. Звіт про науково-дослідну роботу', СумДУ, 2020.
2. Kulikov A., Miroshnichenko D. V., Bilyk Ya. I., Smolenko D. V., Lazarenko A. D. Investigation of a Turbogenerator Based on the Vortex Expansion Machine with a Peripheral Side Channel dynamometer // JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES. – 2021 - Volume 8, Issue 12 (2021) - pp. F 11–F 18.
3. Vanyeyev, S., Getalo, V. Jet-reactive turbine: Experimental researches and calculations by means of softwares // Applied Mechanics and Materials, Volume 630, 2014, Pages 66–71.
4. С. М. Ванєєв, Д. В. Мірошніченко, В. О. Журба, Я. В. Знаменшиков, В. М. Бага, та Т. С. Родимченко, 'Стенд для дослідження розширювальних турбомашин малої потужності та агрегатів на їх основі', Refrigeration Engineering and Technology, vol. 55, no. 1, pp. 15–21, 2019.
5. Vanyeyev, S., Berezhnoi, A.. Influence of gap between driving wheel and corps on characteristics of jet-reactive turbine // Procedia Engineering, Volume 39, 2012, Pages 1–8.
6. Vanyeyev S.M., Meleychuk S.S., Baga V.N., Rodymchenko, T.S. Investigation of the Influence of Gas Pressure at the Inlet in Jet-Reactive Turbine on its Performance Indicators // Problems of the regional energetics. – 2018 Volume 3 (38). - Pages 71-82.
7. Гетало В.В. Вдосконалення систем редукування тиску шляхом використання струминно-реактивних пневмоагрегатів: Автореферат дисерт. канд. техн. наук, спец.: 05.05.17 - гідравлічні машини та гідропнеумоагрегати / В.В. Гетало; наук. кер. С.М. Ванєєв, Суми, 2014.

## Investigation of a channel-type jet-reaction expansion machine in ANSYS CFX.

O. Meleychuk<sup>1</sup>, S. Vaneev<sup>1</sup>, S. Koroliov<sup>2</sup>

1 – Sumy State University, Sumy, Ukraine

2 – Individual entrepreneur (FOP) Korolev Sergey Konstantinovich, Ukraine

**Abstract.** In today's world, the importance of energy conservation, the use of energy-efficient technologies, and the decentralization of energy supply has become a key priority for enhancing national security. One possible solution is the development of turbo units sets based on non-traditional construction of turbines, specifically channel-type jet-reaction turbines (JRTs). There is a limited number of studies dedicated to their experimental research. Therefore, there is a need for rapid research of this type of turbine. One of the promising approaches is the use of modern software packages with computational fluid dynamics (CFD) methods, such as ANSYS CFX.

This article presents the results of numerical modeling of a channel-type JRT in ANSYS CFX. The results were verified by comparison with design calculations and experimental tests, confirming the reliability of the obtained JRT characteristics. The results of the work will be used for further research and optimization of the geometry of expansion turbomachines for the creation of turbo generators based on them.

**Keywords:** Energy conservation; jet reaction turbine; numerical simulations; ANSYS CFX; computational fluid dynamics (CFD) methods.