УДК 532.528; 697.922.566

Спрощення процесу проектування клапанів за допомогою CFD

Коноваленко В.О.
Національний авіаційний університет, Київ, Україна

Анотація: *В даній роботі проведено аналіз можливого застосування чисельних методів CFD при проектуванні поворотного клапану для усунення процесу кавітації, спрощення самого виробничого процесу і зменшення матеріальних затрат та часу на прикладі японської фірми Azbil, котра використовує програмне забезпечення SC/Tetra. Наведені тенденції розвитку промислового ринку гідравлічних агрегатів та техніки загалом, показані типові конструктивні рішення на прикладі поворотного регулюючого клапану і підняте питання про їх класифікацію. А також описані основні типи математичних моделей при моделюванні кавітаційних потоків та проблеми зв’язані з використанням традиційних кавітаційних моделей. Підняте питання про перспективність розробки математичної моделі кавітації, яка описує динаміку взаємодії каверн не тільки сферичної форми.*
Ключові слова: *клапани; CFD; кавітація; TEM; каверни.*

В різних технічних галузях існує тенденція на те, щоб майже вся продукція ставала меншою і легшою, те ж саме відноситься і до регулюючих клапанів. Мініатюризація також енергоефективна і для такого обладнання, як регулюючі клапани, котрі приводяться до дії електричними двигунами. Менші конструктивні компоненти знижують споживання електроенергії. Крім того клапани меншого розміру зменшують загальну вагу і спрощують установку обладнання. Дуже важливо спроектувати клапан, який дозволяє отримати потрібний потік рідини і задовольнити інші конструктивні вимоги, роблячи агрегат якомога меншим. Технічною проблемою в даному випадку є те, що конструкція має забезпечити менший шум і відповідно меншу кавітацію (утворення каверн в потоці рідини при досяганні тиску насичених парів, що в переважній більшості випадків має негативний характер і призводить до кавітаційної ерозії, що загрожує пошкодженню клапана і виходу з ладу).

До недавнього часу процес проектування традиційно складався спочатку з визначення специфікації, а потім планування базової структури. В залежності від граничних умов і потрібної швидкості потоку розроблюється декілька агрегатів різних розмірів та форми, іноді буває більше десятка варіацій. Розробка прототипів і експериментальні випробування після цього етапу завжди фінансово затратні і потребують багато часу. Але використання CFD-пакетів (Computational Fluid Dynamics) значно скоротило кількість випробувань прототипів і значно зменшило час розробки. Також допомогло інженерам краще зрозуміти суть фізичного явища аналізуючи візуальні результати.

Типовим прикладом ефективності використання CFD-аналізу є проектування оптимальної конструкції поворотного регулюючого клапану (Рис. 1), який використовує для регулювання витрати шляхом обертання внутрішньої заглушки. Коли тиск всередині клапана швидко падає, виникає кавітація. Японська фірма Azbil [1] використала програмне забезпечення SC/Tetra для розробки дифузора конічної форми, який зменшив кавітацію і шум при збереженні достатнього потоку.

Хоча CFD-аналіз активно використовується в процесі проектування гідравлічних агрегатів, але загальних рекомендацій по усуненню кавітаційного потоку при проектування конструкції гідроавтоматики за допомогою зміни геометрії в літературі не зустрічається, тому актуальним дослідження є структурування вже відомих результатів досліджень впливу геометрії конструктивних частин на запобігання кавітації та нових інженерних рішень.

Значення CFD-аналізу і натурних випробувань в основному співпадають і дають розбіжність в межах 5-10%, але не завжди дають змогу повністю позбутися кавітації, це пов’язано з недосконалістю моделей кавітації.

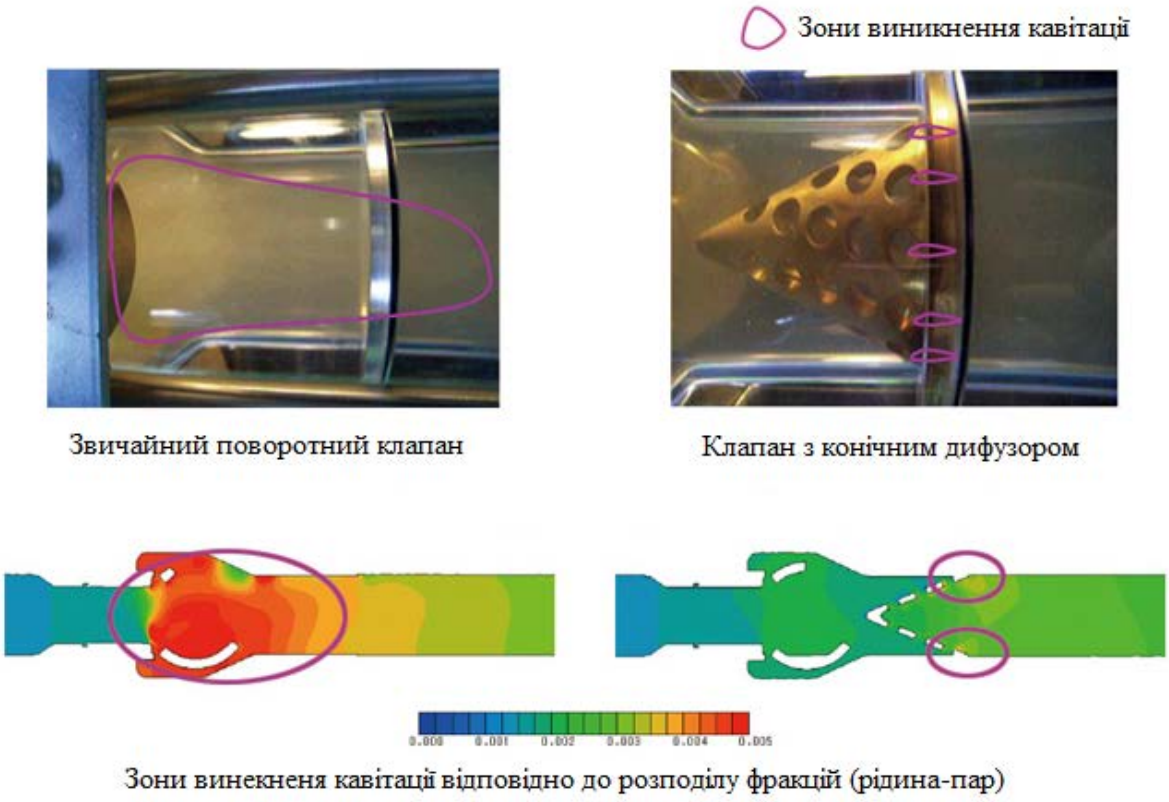

Рис. 1. CFD-аналіз при проектуванні конічного дифузору

На макроскопічному рівні динаміка кластерів кавітаційних каверн досліджується за допомогою різних моделей. При моделюванні потрібно ретельно враховувати баланс між точністю і обчислювальною ефективністю. В цьому плані великого успіху досягли моделі «однорідної рівноваги» [2], в цих моделях суміш рідини і парової фази описується як однорідна рідина, властивості якої залежать від складу суміші. Таким чином, ідентифікують два типи моделей для отримання густини суміші. Перший тип – це моделі баротропного рівняння (BEM), в котрій спеціальне рівняння стану (EOS) пропонується для залежності об'єму суміші від тиску [3], він був розроблений для моделювання ударних течій при наявності кавітації в кріогенних рідинах і точність розрахунків сильно залежить від вибору EOS. Другий тип базується на моделі рівняння переносу (TEM), де фазовий перехід моделюється рівнянням переносу, член масового джерела в рівнянні вирішується за допомогою спрощеного рівняння Релея-Плессета [4] і цей тип моделі використовується в багатьох сучасних CFD-пакетах, таких як Ansys Fluent, CFX, OpenFOAM та ін., через більш низькі обчислювальні навантаження.

Не дивлячись на те, що кавітаційний потік складається з великої кількості бульбашок, взаємодія каверн між собою ігнорується в більшості традиційних моделей кавітації, включаючи більшість TEM. Лише в декількох актуальних роботах детально розглядались взаємодії в кластері каверн [5, 6, 7], що більш ефективні ніж традиційна модель Zwart-Gerber-Belmri (ZGB) [8]. Наприклад, Maiga та ін. розробили нову модель [9], що базується на взаємодії двох сферичних бульбашок різної розміру і єдиним вхідним параметром було розходження локальних швидкостей, ефективність цієї моделі була підтверджена, однак розходження локальних швидкостей має бути отримано до прогнозів, що обмежує використання моделі.

Також ці моделі описують динаміку взаємодії між сферичними кавернами, а не різних форм (характерних для окремих режимів кавітації), тому актуальною є розробка нової моделі, яка враховувала би цей недолік, що і є метою подальших досліджень.

Список літератури

1. Azbil Corporation List: URL: https://www.cradle-cfd.com/media/sc_tetra/sc_tetra_case/a18 .
2. Roohi, E., Zahiri, A.P., Passandideh-Fard, M., 2013. Numerical simulation of cavitation around a two-dimensional hydrofoil using VOF method and LES turbulence model. Appl. Math. Model. 37, 6469e6488. https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.09.002.
3. Delannoy, Y., Kueny, J.L., 1990. Two phase flow approach in unsteady cavitation modelling. ASME Cavitation Multiphase Flow Forum 98, 153e160.
4. Sauer, J., Schnerr, G.H., 2001. Development of a new cavitation model based on bubble dynamics. J. Appl. Math. Mech. 81, 561e562. https://doi.org/10.1002/zamm.20010811559.
5. Ida, M., 2009. Multibubble cavitation inception. Phys. Fluids 21, 113302. https://doi.org/10.1063/1.3265547.
6. Bremond, N., Arora, M., Ohl, C.D., Lohse, D., 2006. Controlled multibubble surface cavitation. Phys. Rev. Lett. 96, 224501. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.96.224501
7. Zhang, Y.N., Min, Q., Zhang, Y.N., Du, X.Z., 2016. Effects of liquid compressibility on bubble-bubble interactions between oscillating bubbles. J. Hydrodyn. B 28,832e839. https://doi.org/10.1016/S1001-6058(16)60685-6.
8. Zwart, P.J., Gerber, A.G., Belamri, T., 2004. A two-phase flow model for predicting cavitation dynamics. Proc. Int. Conf. Multiphase Flow 152.
9. Maiga, M.A., Coutier-Delgosha, O., Buisine, D., 2018. A new cavitation model based on bubble-bubble interactions. Phys. Fluids 30, 123301. https://doi.org/10.1063/1.5052257.

Simplify the process of designing valves with CFD

Viktor Konovalenko

Abstract. *This paper analyzes the possible application of numerical CFD methods in the design of a rotary valve to eliminate the cavitation process, simplify the production process and reduce material costs and time on the example of the Japanese company Azbil, which uses SC / Tetra software. The tendencies of development of the industrial market of hydraulic units and technics in general are resulted, typical constructive decisions on an example of the rotary regulating valve are shown and the question of their classification is raised. It also describes the main types of mathematical models in modeling cavitation flows and the problems associated with the use of traditional cavitation models. The question of the prospects of developing a mathematical model of cavitation, which describes the dynamics of the interaction of caverns, not only spherical shape.*

Keywords: *valves; CFD; cavitation; TEM; caverns.*