

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНОЇ ТЕЧІЇ В ГІДРАВЛІЧНІЙ СИСТЕМІ ЗА КАВІТУЮЧОЮ ШАЙБОЮ

Інститут технічної механіки Національної академії наук України
і Державного космічного агентства України,
вул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Дніпро, Україна; e-mail: office.itm@nas.gov.ua

У роботі розглядається питання побудови раціональної математичної моделі для її використання при чисельному моделюванні нестационарних течій рідини у гідравлічних системах з кавітуючими місцевими опорами. Використовувані нині підходи до моделювання кавітації засновані або на урахуванні двохфазності течії, або на представленні кавітуючого потоку у вигляді гомогенного середовища змінної густини. В останньому випадку для зв'язку тиску і густини застосовується баротропне рівняння стану парорідинної суміші. Мета даної роботи – перевірка застосовності моделі кавітації, заснованої на використанні баротропного рівняння стану парорідинної суміші, при чисельному моделюванні нестационарної течії в гідросистемі за кавітуючою шайбою. Метод дослідження – чисельне моделювання течії в осесиметричному наближенні на основі повних усереднених рівнянь Нав'є–Стокса. Показано, що використання баротропного рівняння стану парорідинної суміші при чисельному моделюванні нестационарної течії в гідросистемі за кавітуючою шайбою дозволяє отримати задовільне узгодження результатів розрахунку з наявними в літературі експериментальними даними. Вказане узгодження досягнуто по значеннях розмаху величини тиску, що коливається, на стінці трубопроводу поблизу виходу з кавітуючої шайби і по наявності вираженої періодичної компоненти у функції, що визначає залежність тиску від часу. Розрахунковим шляхом показано, що параметри нестационарної течії за кавітуючою шайбою змінюються при переході від місця встановлення шайби до місця схлопування кавітаційних каверн, при цьому зростають значення розмаху величини тиску, що коливається, на стінці трубопроводу і збільшується вклад високочастотних періодичних компонент у функцію, що описує залежність тиску від часу. Видається доцільним подальше уточнення використовуваної моделі турбулентності для коректного моделювання кавітаційних коливань, що генеруються періодично-зривною кавітацією в трубках Вентурі, які використовуються в різних кавітаційно-імпульсних установках.

Ключові слова: чисельне моделювання, модель кавітації, баротропне рівняння стану, кавітуюча шайба, величина тиску, що коливається.

1. Pilipenko O. V., Zapol'sky L. G., Kvasha Y. A. Use of the cavitation pulse generator of high-frequency, high-amplitude self-oscillations for dispersing suspensions. ID: CAV-2003-OS-2-3-004, Fifth International Symposium on Cavitation (CAV 2003). (Osaka, Japan, November 1–4, 2003). 6 p. URL: <http://flow.me.es.osaka-u.ac.jp/cav2003/Papers/Cav03-OS-2-3-004.pdf> (Last accessed: 28.08.2022).
2. Palau-Salvador G., Gonzalez-Altozano P., Arviza-Valverde J. Numerical modelling of cavitating flows for simple geometries using FLUENT V6.1. Spanish Journal of Agriculture Research. 2007. Vol. 5. P. 460–469. <https://doi.org/10.5424/sjar/2007054-269>
3. Ahuja V., Hosangadi A. Simulations of cavitation in orifice and Venturis. Proc. of the ASME PVP 2007 / CREEP 8-11 Conf. (Hyatt Regency San Antonio, Texas, USA, July 22–26, 2007). San Antonio (USA), 2007. 9 p.
4. Goncalves E., Fortes Patella R. Numerical simulation of cavitating flows with homogeneous models. Computers & Fluids. 2009. Vol. 38 (9). P. 1682–1696. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2009.03.001>
5. Charriere B., Decaix J., Goncalves E. A comparative study of cavitation models in a Venturi flow. European Journal of Mechanics – B/Fluids. 2015. Vol. 49. P. 287–297. <https://doi.org/10.1016/j.euromechflu.2014.10.003>
6. Charriere B., Goncalves E. Numerical investigation of periodic cavitation shedding in a Venturi. International Journal of Heat and Fluid Flow. 2017. Vol. 64. P. 41–54. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2017.01.011>
7. Пилипенко В. В. Кавитационные автоколебания. Киев: Наук. думка, 1989. 316 с.
8. Aeschlimann V., Barre S., Djeridi H. Unsteady cavitation analysis using phase averaging and conditional approaches in a 2D Venturi flow. Open Journal of Fluid Dynamics. 2013. Vol. 3, No. 3. P. 171–183. <https://doi.org/10.4236/ojfd.2013.33022>
9. Болотова Н. В., Кваша Ю. А. Численное моделирование нестационарного течения в гидравлической системе с кавитирующей трубкой Вентури на неструктурной расчетной сетке. Техническая механика. 2011. № 3. С. 61–67.
10. Болотова Н. В., Кваша Ю. А. Численное моделирование кавитационных автоколебаний в гидравлической системе с дисковой диафрагмой. Техническая механика. 2013. № 1. С. 61–67.
11. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. Москва: Наука, 1978. 736 с.
12. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика. Москва: Наука, 1976. 888 с.
13. Колган В. П. Применение принципа минимальных значений производной к построению конечноразностных схем для расчета разрывных решений газовой динамики. Ученые записки ЦАГИ. 1972. Т. 3, № 6. С. 68–77.

Отримано 13.09.2022,
в остаточному варіанті 27.09.2022