

Застосування FSI технології для моделювання напружено-деформованого стану конструкції клапана в потоці рідини

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано підхід до моделювання задач взаємодії «рідина-конструкція» (Fluid Structure Interaction), який оснований на двосторонній взаємодії між кодом напружено-деформованого стану Abaqus і аерогідродинамічним кодом FlowVision. Моделювання взаємодії FSI можливо завдяки розробленому менеджеру зв'язку Multi-Physics Manager (MPM). MPM природним чином об'єднує кінцево-елементну і кінцево-об'ємну різницеві сітки без введення будь-яких додаткових структур на рівні FSI. Це дозволяє зістикувати різні типи сіток, різні типи апроксимацій і забезпечити двосторонню передачу даних між Abaqus і FlowVision. Точність апроксимації рівнянь зберігається, як в областях розрахунку динаміки рідини і міцності конструкції, так і на межі їх взаємодії. Як приклад FSI-взаємодії представлено чисельне моделювання напружено-деформованого стану конструкції клапану встановленого в каналі із рухомою в ньому рідиною.

Ключові слова: моделювання, клапан, потік, деформація, тиск, швидкість.

Abstract

An approach to the modeling of fluid-structure interaction problems (Fluid Structure Interaction), based on the two-way interaction between the stress-strain state code Abaqus and the aero-hydrodynamic code FlowVision, is proposed. FSI interaction modeling is possible thanks to the Multi-Physics Manager (MPM) communication manager. MPM naturally combines the finite element and finite volume difference grids without introducing any additional structures at the FSI level. This allows you to connect different types of networks, different types of approximations and provide two-way data transfer between Abaqus and FlowVision. The accuracy of the approximation of the equations is preserved, both in the areas of calculation of fluid dynamics and structural strength, and at the boundary of their interaction. As an example of FSI interaction, a numerical simulation of the stress-strain state of a valve design installed in a channel from a fluid driving it is presented.

Keywords: modeling, valve, flow, deformation, pressure, speed..

Вступ

Останніми роками сильно зріс інтерес до розв'язку складних багатодисциплінарних задач (задач мультифізики), які вимагають одночасного моделювання різних фізичних явищ з урахуванням їх взаємного впливу один на одного [1, 2].

До такого роду задач відносяться задачі взаємодії рідини і конструкцій (Fluid Structure Interaction (FSI)), які мають важливе значення в різних галузях промисловості і науки. Прикладами таких задач є: авіація (аерогідропружність елементів конструкції, бафтинг і флатер крила літальних апаратів або лопаток турбореактивних двигунів); суднобудування (аерогідродинаміки судів на повітряній подушці з еластичними подушками або обмеженнями, міцність конструкції корпусів швидкісних суден при хвильовому ударі); автомобільна промисловість (аквапланування колеса, динамічні навантаження і деформація спойлерів та інших виступаючих частин); двигунобудування (виробництві турбомашин, вітряків); будівництво (вітрове навантаження на висотні будівлі і споруди, міцність скління тощо).

Результати дослідження

Для реалізації запропонованої технології було обрано моделювання фізичних процесів при обтіканні клапану потоком рідини в каналі де встановлений сам клапан (рис. 1, а). У FEM-програмі ABAQUS [3] було створено розрахунковий проект клапану для моделювання його напружено-деформованого стану (рис. 1, б). Паралельно цьому у CFD-програмі FlowVision [4] було також створено розрахунковий проект потоку рідини в каналі, де встановлений сам клапан (рис. 1, в). Паралельно цьому були розроблені математичні моделі окремих відповідних фізичних процесів.

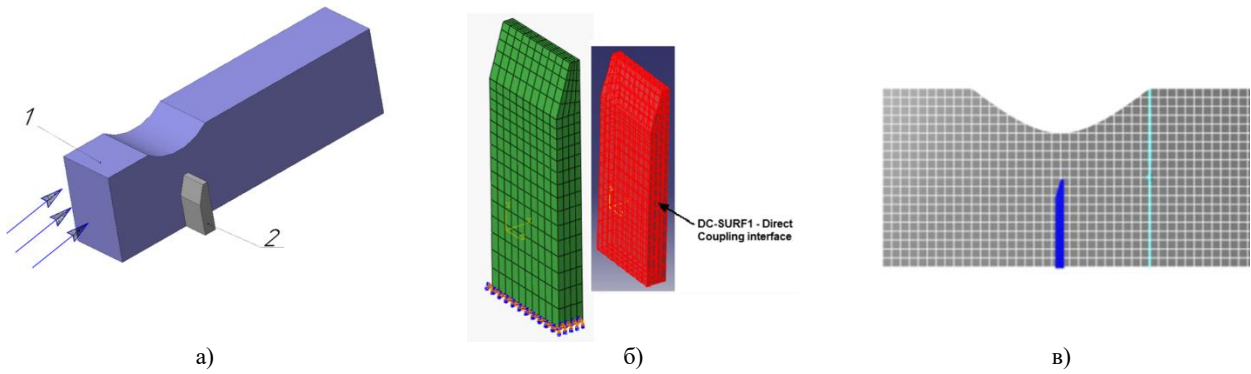


Рисунок. 1. Етапи розробки проектів моделювання:
 а) – CAD-модель клапану у потоці рідини; б) – FEM-модель клапану; в) – CFD-модель потоку рідини

Для двостороннього sprzęження між рівняннями деформації конструкції клапану і рухом рідини використовується явний метод розщеплення [5, 6]. Обмін інформацією між програмними комплексами Abaqus і FlowVision відбувається через проміжки часу, які задаються користувачем Θ^{n+1} (крок по часу sprzęження) $\Theta^{n+1}=T^{n+1}+T^n$, де T^{n+1} , T^n – моменти часу синхронізації між двома розв'язками. Середині кожного кроку по часу сполучення обидва програмних комплексу можуть робити один або кілька кроків за часом. Алгоритм явного методу розщеплення наступний:

- 1) Першочергово розв'язується система рівнянь Abaqus, щоб отримати переміщення вузлів розрахункової сітки u^{n+1} , яке відповідає часу T^{n+1} . Тиск рідини P^n береться із попереднього моменту часу T^n і приймається постійним на протязі Θ^{n+1} ;
- 2) Переміщення вузлів u^{n+1} передається у FlowVision; швидкості деформації поверхні W клапану розраховуються;
- 3) Гідродинамічні рівняння розраховуються за допомогою програми FlowVision, щоб отримати тиск рідини на поверхні конструкції клапану;
- 4) Тиск P^n передається в Abaqus в момент часу T^{n+1} .

Програмний комплекс FlowVision використовує Ейлерів підхід [7] для вирішення задач руху рідини в розрахунковій області з рухомими межами. Рівняння Нав'є-Стокса розв'язуються методом розщеплення по фізичним змінним [5].

MPManager – це невелика програма, що входить до складу програмного комплексу FlowVision, яка управляє роботою Abaqus і FlowVision впродовж їх sprzęженого розрахунку, вона ж передає дані їх одного програмного комплексу в інший – переміщення розрахункових вузлів з Abaqus у FlowVision і навантаження назад. Налаштування sprzęженого розрахунку користувачем полягає в наступному. У FlowVision імпортується клапан цілком і автоматично налаштовується зв'язок між кінцево-об'ємної сіткою і кінцево-елементної [4, 6]. У MPManager користувач задає адреси до проектів Abaqus і FlowVision і визначає крок за часом sprzęження.

На основі вищевикладеної методики і підходу у САЕ-програмах Abaqus і FlowVision були змодельовані фізичні процеси (гідродинамічні процеси (рис. 2, а) і напружено-деформований стан клапану (рис. 2, б)), які виникають при обтіканні клапану потоком рідини у каналі, де встановлений сам клапан.

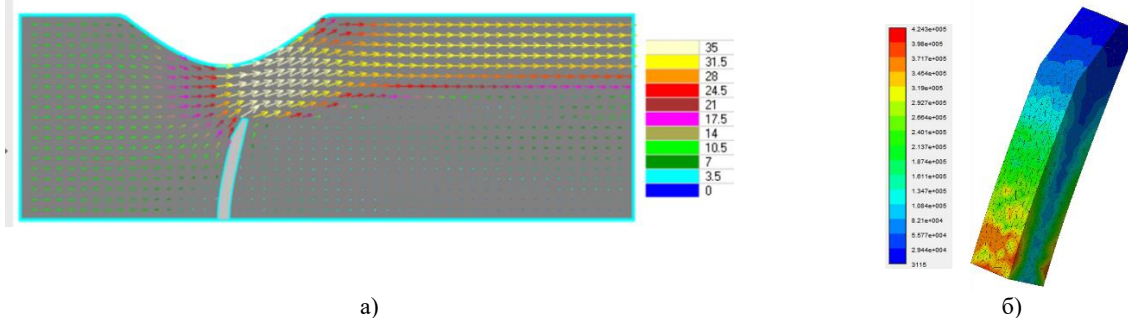


Рисунок. 2. Результати моделювання фізичних процесів із застосуванням технології FSI:
 а) – розподіл векторів швидкості у потоці рідини; б) – розподіл напружень у клапані

Розрахунки виконувались за допомогою комп'ютерних систем на базі обчислювального кластера Інституту кібернетики ім. В. М. Глушкова. На основі результатів чисельного моделювання мультифізичних процесів при обтіканні клапану рідиною у каналі де встановлений сам клапан, були визначені його робочі характеристики, а саме максимальна швидкість у потоці $V=35$ м/с, максимальне напруження у клапані $\sigma=0,42$ МПа, максимальний напірний тиск на поверхні клапану склав $P=0,9$ МПа.

Висновки

Представлений в даній роботі, підхід до побудови математичної моделі для чисельного моделювання фізичних процесів при обтіканні клапану потоком рідини у каналі, заснований на двосторонньому прямому сполученні програмних комплексів FlowVision і Abaqus, а результати моделювання показали, що даний підхід дозволяє вирішувати широкий клас задач гідродинаміки і міцності.

Пропонований підхід надає конструктору в повному обсязі інформацію про фізичні процеси, які супроводжують перераховані вище задачі, як в частині гідродинамічних процесів, так і в частині напружено-деформованого стану конструкції клапану. Це дозволяє інженеру-конструктору приймати рішення на основі комплексного аналізу. Даний підхід також надає інженеру-досліднику широкі можливості по проведенню параметричних досліджень для оптимізації гідродинамічної компоновки конструкції клапану, мінімізуючи, при цьому, в порівнянні з традиційними методами на основі випробувань фізичних моделей, тимчасові і матеріальні витрати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Іскович–Лотоцький Р. Д. Вібраційні та віброударні пристрої для розвантаження транспортних засобів / Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук // Монографія. – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2012. – 156 с.
2. Іскович–Лотоцький Р. Д. Технологія моделювання оцінки параметрів формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом : монографія / Р. Д. Іскович–Лотоцький, О. В. Зелінська, Я. В. Іванчук. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 152 с.
3. Іскович–Лотоцький Р. Д. Застосування гібридного моделювання при розробці установок для утилізації відходів. / Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук, Д. В. Тесовський, Я. П. Веселовський // Технологічні комплекси. Науковий журнал – Луцьк, 2012. – № 1,2 (5, 6). – С. 122 – 126.
4. Іскович–Лотоцький Р. Д. Установка для утилизации отходов / Р. Д. Іскович–Лотоцький, В. И. Повстенюк, О.М. Данилюк, Я. В. Іванчук // Международный промышленный журнал «Мир техники и технологий» – Харьков, 2007. – №12(73). – С.36–37.
5. Іскович–Лотоцький Р. Д. Оптимізація конструктивних параметрів інерційного вібропрес–молота // Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук, Я. П. Веселовський // Вісник машинобудування та транспорту. – 2016. – №2. – С. 43 – 50.
6. Іскович–Лотоцький Р. Д. Моделювання робочих процесів в піролізній установці для утилізації відходів / Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук, Я. П. Веселовський // Східно–європейський журнал передових технологій. – Харків, 2016. – Том 1, № 8(79). – С.11–20. doi: 10.15587/1729-4061.2016.59419.
7. Іскович–Лотоцький, Р. Д. Дослідження параметрів процесу формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні / Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук, Є. І. Івашко // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018 – № 9 (1285). – С. 31-37. – doi: 10.20998/2413-4295.2018.09.04.

Іванчук Ярослав Володимирович – канд. техн. наук, доцент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, ivanchuck@ukr.net.

Іскович-Лотоцький Ростислав Дмитрович – докт. техн. наук, професор кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, ivanchuck@ukr.net.

Yaroslav Ivanchuk V. – Ph. D., Associate Professor, Associate Professor of Industrial Engineering Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, ivanchuck@ukr.net.

Rostislav Iskovich-Lototsky D. – Dr. Techn. Sc., Prof., Professor of Industrial Engineering Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, ivanchuck@ukr.net.