

Типізація та моделювання гідравлічних модулів з одноштоковим гідравлічним циліндром / О. П. Іваніцькая // Вісник НТУ «ХП». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків: НТУ «ХП», 2013. – №5 (979). – С. 84-94. Бібліогр.: 5 назв.

Все разнообразие гидравлических дроссельных приводов с гидравлическими одноштоковыми цилиндрами можно свести к 16 гидравлическим модулям в зависимости от направления движения поршня, направления действия нагрузки, наличия или отсутствия дросселя (или регулятора расхода) и расположения его в напорной или сливной магистралях. Приведены математические модели 16 основных типов гидравлических модулей с гидравлическим вертикальным и горизонтальным одноштоковым цилиндром.

Ключевые слова: гидропривод, гидравлический модуль, одноштоковый гидроцилиндр, гидравлическая модель.

All variety of hydraulic throttle actuators with hydraulic cylinders with a rod can be reduced to 16 hydraulic modules, depending on the direction of movement of the piston, the direction of the load, the presence or absence of restriction (or flow control), and its location in the inlet and drain pipes. Mathematical models of the 16 main types of hydraulic modules with vertical and horizontal hydraulic cylinder with a piston rod.

Key words: hydroactuator, hydraulic module, hydraulic cylinders with a rod, hydraulic model.

Е. В. КОЛІСНІЧЕНКО, канд. техн. наук, доц., СумДУ, Суми;
М. В. НАЙДА, асп., СумДУ, Суми;
Ю. Я. ТКАЧУК, канд. техн. наук, доц., СумДУ, Суми;
С. О. ХОВАНСЬКИЙ, канд. техн. наук, ст. викл., СумДУ, Суми

АНАЛІЗ СТАНУ ТА ТЕНДЕНЦІЯ ВИКОРИСТАННЯ КОМЕРЦІЙНИХ ПРОГРАМНИХ ПАКЕТІВ ДЛЯ ОДНО- ТА ДВОКОМПОНЕНТНОЇ СУМІШІ

Надано аналіз стану та тенденція використання програмних продуктів для одно- та двокомпонентної суміші. Представлене моделювання нестискуваних течій рідини і газу та течій рідини з малою кількістю газу. Зроблений висновок, що сучасні комерційні програмні продукти дозволяють адекватно моделювати складні фізичні ефекти різної природи.

Ключові слова: гідромашина, програмний продукт, моделювання, течія рідини, чисельний розрахунок.

Вступ. Із самого початку появи гідромашин перед проектувальниками повстало завдання – спрогнозувати параметри роботи створюваної ними машини до того, як креслення будуть передані у виробництво. Стосовно лопатевих гідромашин це завдання ускладнювалося тим, що їхні основні параметри визначаються картою течії рідини усередині проточної частини, а ця

течія настільки складна, що дотепер нерідко єдиним надійним методом дослідження в механіці рідини залишається експеримент.

Оскільки сучасні інженерні пристрої є дорогими й трудомісткими у виготовленні, тому фізичне моделювання з експериментальним визначенням параметрів роботи гідромашин на різних режимах вимагає значних часових і фінансових витрат. Це призводить до невпинно зростаючої зацікавленості засобами математичного моделювання течій рідин і газів, які дозволяють прогнозувати характеристики течій і параметри роботи пристроїв ще на стадії їхнього проектування, до виготовлення в металі.

Аналіз останніх досліджень. Останніми роками на ринку набули широкого поширення комерційні програмні продукти, які дозволяють виконувати чисельний розрахунок течій рідини та газу довільної складності в областях довільної геометричної конфігурації. Тому наш час характеризується широким впровадженням в усі передові галузі науки і промисловості прикладних програмних пакетів обчислювальної гідрогазодинаміки і теплофізики.

Паралельно в передових країнах на базі університетів і дослідницьких центрів розвиваються і створюються програми обчислювальної гідрогазодинаміки, що не мають такого широкого охоплення прикладних задач, як комерційні програми, але дозволяють розробляти і апробувати нові фізичні моделі та математичні алгоритми, а також відпрацьовувати методики розрахунку течій, з акцентом на найбільш адекватне відтворення даних експериментів.

Сучасні засоби обчислювальної гідрогазодинаміки повинні давати можливість для наступного:

- вирішувати повні стаціонарні і нестаціонарні *рівняння Нав'є-Стокса* в областях довільної геометрії;
- використовувати інерціальні та неінерціальні системи відліку, як окремо, так і спільно;
- моделювати течії при малих і великих *числах Маха*;
- використовувати різні підходи до моделювання турбулентності;
- вирішувати завдання сполученого і складного теплообміну;
- здійснювати облік реальних властивостей і багатофазності середовища, фізико-хімічних процесів і так далі;
- виконувати паралельні (розподілені) обчислення.

На даний момент розроблені і добре зарекомендували себе методи чисельного розрахунку як простих течій рідини в лопатевих гідромашинах, так і складних, з додатковими фізичними процесами різної природи, в тому числі і багатофазних течій [1, 2]. А використання провідних програмних пакетів забезпечує можливість моделювання складних течій з достатньо високою точністю і подібністю до експериментальних досліджень [3 – 7]. На рис. 1 показана динаміка зростання кількості робіт, які використовували апарат обчислювальної гідромеханіки в порівнянні з роботами по проведенню фізичного моделювання за період з 1998 по 2010 роки. При цьому до недавнього часу

область застосування відповідних методів розрахунку була обмежена тими класами завдань, для яких вони розроблялися, а саме проведення розрахунків було під силу лише розробникам цих методів.

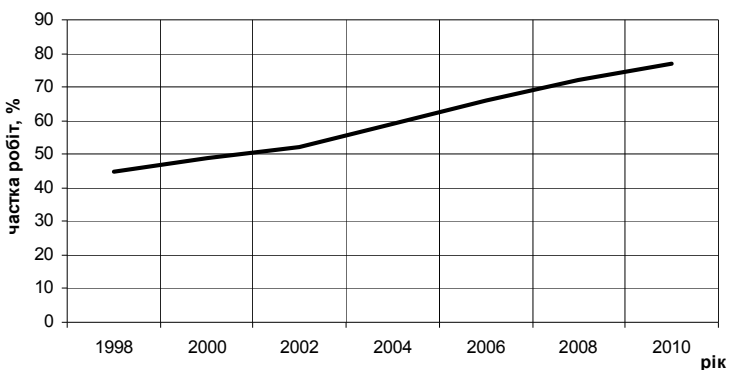


Рис. 1 – Динаміка зростання кількості робіт, які використовували апарат обчислювальної гідромеханіки в порівнянні з роботами по проведенню фізичного моделювання за період 1998 – 2010 роки.

В основі розвитку провідних програмних продуктів закладена реалізація в кожному з них набору математичних моделей, що дозволяють як можна більш повно моделювати фізичні ефекти, які зустрічаються на практиці.

Серед найбільш популярних у світі пакетів варто особливо відзначити, зокрема, ANSYS CFX (Канада – Англія – Німеччина; приклади успішного застосування до розрахунку течій в насосах і компресорах), StarCD (Англія.), Fluent (США), Numeca (Бельгія), FlowVision (Росія).

ANSYS CFX – це професійний кінцево-елементний розрахунковий комплекс, що має гнучку модульну комплектацію, яка дозволяє вирішувати завдання міцності, теплообміну, електромагнетизму, гідрогазодинаміки як окремо, так і спільно. Область застосування даного розрахункового комплексу просто величезна. Вона включає в себе авіаційну та космічну промисловість, автомобілебудування та наземний транспорт, суднобудування, атомну та хімічну промисловість, цивільне будівництво, електроніку, телекомунікації, медицину, мікромеханіку, виробництво силових агрегатів і турбомашин, енергетику та інше.

FlowVision моделює тривимірні стаціонарні і нестаціонарні течії рідини і газу, дозволяє швидко і ефективно аналізувати результати розрахунку. Чисельні фізичні моделі та адаптивні алгоритми дають можливість вивчати такі складні рухи рідини, як течії з сильною закруткою, вільними поверхнями, ударними хвилями.

STAR-CD є багатоцільовим єдиним CFD-пакетом розробки CD-adapco.

Ефективна паралелізації алгоритму рішення, заснованого на застосуванні методу кінцевих об'ємів, в поєднанні з унікальними методиками автоматизованого розбиття області течії дозволяють моделювати завдання будь-якого ступеня геометричної складності. Однією з перших областей широкого застосування програми була автомобільна промисловість, після чого STAR-CD набула поширення в усіх галузях.

FLUENT – програмний комплекс, призначений для вирішення завдань механіки рідин і газів. FLUENT використовує неструктуровану сіткову технологію. Адаптація розрахункової сітки дозволяє отримати точне рішення для областей з великими градієнтами потоку, наприклад, для граничних шарів. Можливості використовувати моделі динамічної адаптивної сітки дозволяють проводити наступні розрахунки: потоки в циліндрах, клапанах та інші. FLUENT дозволяє проводити спільні розрахунки ротор-статор для турбомашин.

Моделювання нестискуваних течій рідини і газу та течій рідини з малою кількістю газу. Ламінарна течія. Розрахунок течії рідини або газу в сучасних програмних продуктах виконується шляхом чисельного рішення системи рівнянь, що описують найбільш загальний випадок руху рідкого середовища. Такими є рівняння Нав'є-Стокса (1) і нерозривності (2):

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + f_i; \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = 0. \quad (2)$$

Тут використаний скорочений запис рівнянь, $i, j = 1 \dots 3$, передбачається підсумовування за однаковими індексами, 1, 2, 3 – осі координат, t – час. Повний запис цих рівнянь в криволінійній системі координат наведений в [8]. Член f_i виражає дію масових сил.

У цій системі з 4 рівнянь незалежними шуканими параметрами є 3 компоненти швидкості u_1, u_2, u_3 і тиск p . Густина ρ рідини, а також газу при швидкостях приблизно до 0,3 числа Маха, можна вважати величиною постійної.

В якості граничних умов, як правило, задається умова прилипання на всіх твердих стінках (швидкість дорівнює нулю), розподіл всіх складових швидкості у вхідному перетині, і рівність нулю перших похідних (у напрямку течії) складових швидкості у вихідному перерізі. Тиск входить в рівняння (1) лише у вигляді перших похідних, і користувачеві потрібно вказати тиск лише в якійсь одній точці розрахункової області.

Турбулентна течія. Течії в техніці, як правило, є турбулентними. Безпосереднє моделювання турбулентних течій шляхом чисельного розв'язання рівнянь Нав'є-Стокса, записаних для миттєвих швидкостей, все ще є вкрай важким. Крім того, інтерес представляють, як правило, не миттєві, а середні за часом значення швидкостей. Таким чином, для аналізу турбулентних течій замість рівнянь (1) використовують *рівняння Рейнольдса*:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\overline{\rho u_i}) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\overline{\rho u_i u_j}) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\overline{\rho u_i' u_j'}) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i} \right) \right] + f, \quad (3)$$

де $\overline{u_1}$, $\overline{u_2}$, $\overline{u_3}$ – середні за часом значення швидкостей; $\overline{u_1'}$, $\overline{u_2'}$, $\overline{u_3'}$ – пульсаційні складові швидкостей.

Для замикання цих рівнянь використовуються різні моделі турбулентності, огляд яких наведено в [9].

Моделювання течій рідини з малою кількістю газу. Підхід Лагранжа (Lagrangian Approach). У цьому підході моделюється рух окремо взятих частинок дисперсної фази під дією сил з боку потоку переносної фази. Для простоти вважають, що дисперсні частинки мають форму куль. Сили, що діють на цю частинку, обумовлені різницею швидкості частинки і швидкості потоку переносної фази, а також витісненням цією частинкою середовища переносної фази. Перевагою підходу Лагранжа є отримання вичерпної інформації про поведінку окремих частинок дисперсної фази в потоці переносного середовища, але цей підхід є неекономічним при великій кількості частинок.

Підхід Ейлера (Eulerian Approach) – модель дисперсного середовища (Particle Model). Речовина в кожній з фаз представляється суцільним середовищем, і рух речовини кожної з фаз моделюється власним набором рівнянь Нав'є-Стокса (Рейнольдса), нерозривності та енергії. У кожен набір рівнянь додаються члени, що описують процес тепло- і масопереносу між фазами. Величина цих членів визначається площею поверхні контакту між фазами. Підхід Ейлера більш зручний для аналізу інтегральних характеристик потоку.

Алгебраїчна модель ковзання – на стадії постановки завдання інформація про гідросуміш вводиться як про єдину багатокомпонентну речовину, що містить дисперсні частинки (наприклад, вода з піщинками і бульбашками повітря). Ця багатокомпонентна речовина має вигляд суцільного середовища, і його рух моделюється єдиним набором рівнянь Нав'є-Стокса (Рейнольдса) і енергії. У цій моделі передбачається, що обмін імпульсом між речовиною однієї й іншої фази відбувається тільки внаслідок в'язкого тертя, при цьому частинки дисперсної фази мають сферичну форму.

Висновки. Сучасний стан розвитку гідромашинобудування потребує зниження витрат на проектування та випуск нової продукції. Використання програмних комплексів із моделювання різної складності течій рідини та газів в проточних частинах гідромашин дозволяє досягти поставленої мети зі значною економією ресурсів та часу.

Сучасні комерційні програмні продукти дозволяють адекватно моделювати складні фізичні ефекти різної природи, в тому числі для задач, в яких проведення фізичного моделювання є вкрай важким.

Список літератури: 1. The secrets of successflue submersible sewage pumps // World pumps. – 1999. – № 394. – P. 38 – 42. 2. *Мунемюра К.* Численный расчет трехмерного двухфазного потока в рабочем колесе центробежного насоса. Никон кикай гаккай ромбунсю. – 1989. – Т. 55, № 520. – С. 3636 – 3642. 3. *Болдырев А.В.* Численное моделирование трехмерных турбулентных течений вязкой несжимаемой жидкости в лопастных гидромашинах // дисс канд. техн. наук. – Казань, 2009. – 207 с. 4. *Луговая С.О.* Прогнозирование характеристики ступени со сменной проточной частью // Вестник СумГУ – Сумы, 2009. – № 1. – С. 49 – 60. 5. *Солодов В. Г.* Теоретичні основи математичного моделювання аеродинамічної взаємодії турбінного ступеня з підводящими та відводящими пристроями проточної частини / Автореф. дис. док. техн. наук. – Харків: ХДАДТУ, 1995. – 38 с. 6. *Hah C., Bryans A. C., Moussa Z., Tomsho M. E.* Application of Viscous Flow Computations for the Aerodynamic Performance of a Backswept Impeller at Various Operating Conditions // Journal of Turbomachinery – July 1988. – Vol. 110. – P. 303-311. 7. *Hah C., Krain H.* Secondary Flows and Vortex Motion in a High-Efficiency Backswept Impeller at Design and Off-Design Conditions // Journal of Turbomachinery – January 1990. – Vol. 112. – P. 7 – 13. 8. *Кочевський О.М.* Оптимізація геометричних параметрів відвідних пристроїв насосів високої швидкохідності з лопатевою системою типу НР / Дисс. канд. техн. наук. – Суми: СумДУ, 2001. – 195 с. 9. *Кочевский А. Н., Неня В. Г.* Современный подход к моделированию и расчету течений жидкости в лопастных гидромашинах // Вестник СумГУ – Сумы, 2003. – № 13 (59). – С. 195 – 210.

Надійшла до редколегії 01.02.2013

УДК 621.67

Аналіз стану та тенденція використання комерційних програмних пакетів для одно- та двокомпонентної суміші / Е. В. Колісніченко, М. В. Найда, Ю. Я. Ткачук, С. О. Хованський // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – №5 (979). – С. 94-99. Бібліогр.: 9 назв.

Предоставлено анализ и тенденцию использования программных продуктов для одно- и двухкомпонентной смеси. Представлено моделирование несжимаемых течений жидкости и газа и течений жидкости с малым количеством газа. Сделан вывод, что современные коммерческие программные продукты позволяют адекватно моделировать сложные физические эффекты различной природы.

Ключевые слова: гидромашини, програмний продукт, моделювання, течення жидкості, численний розрахунок.

Powered by trend analysis and use of software for single-and two-component mixture. The present modeling incompressible fluid flow and gas and liquid flow with a small amount of gas. The conclusion is that modern commercial software products can adequately simulate the complex physical effects of different nature.

Key words: hydraulic machines, software, modeling, fluid flow, numerical calculation.