

ДО ПИТАННЯ ПОБУДОВИ ГІБРИДНИХ РОЗРАХУНКОВИХ СІТОК ДЛЯ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТУРБУЛЕНТНИХ ТЕЧІЙ У ПРОТОЧНІЙ ЧАСТИНІ РАДІАЛЬНИХ ВЕНТИЛЯТОРІВ

Зінченко А.В.¹, Редчиць Д.О.²

¹Інститут транспортних систем і технологій НАН України,
к.ф.-м.н., ст.н.с, Україна

²Інститут транспортних систем і технологій НАН України
д.ф.-м.н., ст.н.с., Україна

Анотація. Проведено аналіз підходів до побудови розрахункових сіток для чисельного моделювання турбулентних течій в областях складної геометрії за наявності рухомих зон. Розглянуто переваги та недоліки підходів з використанням багатоблокових рухомих сіток, а також наближення “замороженого ротора”. Обґрунтовано доцільність використання наближення “замороженого ротора” для моделювання течій у проточній частині радіальних вентиляторів. Розроблено метод оптимізації пересічних областей багатоблокових сіток. Виконано генерацію гібридної багатоблокової розрахункової сітки для проточної частини радіального вентилятора, придатної для використання підходу “замороженого ротора”, та наведено її структуру. Проведені в подальшому розрахунки турбулентної течії на базі комплексу сгенерованих багатоблокових сіток показали високу якість отриманих чисельних результатів та задовільне співпадіння з відомими результатами експериментів.

Ключові слова: чисельне моделювання, рівняння Нав'є-Стокса, розрахункові сітки, радіальні вентилятори, багатоблокові гібридні сітки.

Розвиток промисловості висуває все нові вимоги до турбомашин та вентиляторів: підвищення їх ефективності, зменшення габаритних розмірів, маси, створення нових компоновальних схем. Комп'ютерне моделювання турбулентних течій на базі чисельного розв'язку рівнянь Нав'є-Стокса є найкращим сучасним інструментом дослідження переваг та недоліків конструкцій радіальних вентиляторів та забезпечення їх високого коефіцієнту корисної дії та продуктивності при заданих масово-габаритних розмірах. Вибір типу розрахункової сітки та її параметрів є визначальним фактором, що впливає на відповідність отриманого розв'язку реальним фізичним процесам, які відбуваються у фізичній області (рис. 1).

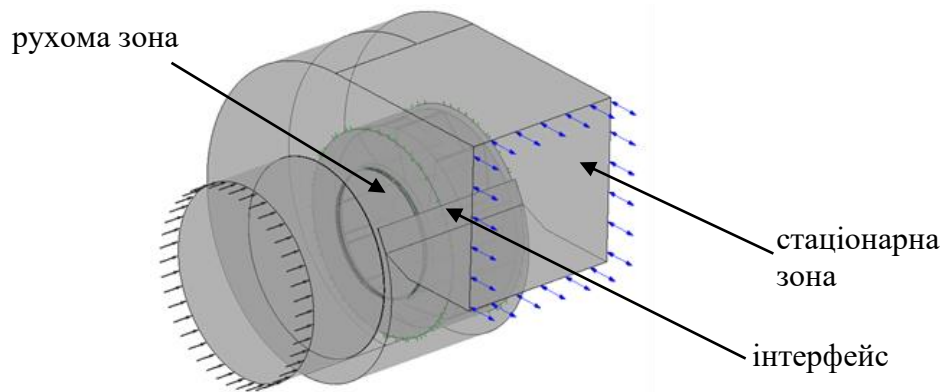


Рисунок 1 – Схема проточної частини вентилятора та зони розрахункової області

Для задач моделювання течій у проточних частинах радіальних вентиляторів, головний інтерес представляє обтікання рухомих частин таких як обертові лопаті та робочі колеса вентиляторів. У більшості випадків рухомі частини роблять задачу нестационарною, якщо розглядати її зі стаціонарної системи відліку. Однак при рухомій системі відліку потік навколо рухомої частини можна, з певними обмеженнями, моделювати як стаціонарну задачу відносно рухомої системи координат.

Загальноприйнятним є використання рухомих сіток [1], коли узгодження параметрів змінних на межі рухомих та стаціонарних зон в зоні інтерфейсу (рис. 1) відбувається на кожному кроці за часом шляхом переінтерполяції. Таким чином вдається звести задачу, яка є нестационарною у нерухомій, інерціальній системі відліку, до стаціонарної відносно рухомої системи координат.

В той же час для розрахунків на усталення, більш ефективним в обчислювальному плані є так званий підхід “замороженого ротора” [2]. Це стаціонарне наближення, в якому окремим зонам розрахункової сітки можуть бути призначені різні обертові та поступальні швидкості. Течія в кожній рухомій зоні розв'язується з використанням рівнянь рухомої системи відліку. Якщо зона стаціонарна, рівняння зводяться до стаціонарних форм. На інтерфейсах між зонами сітки також виконується переінтерполяція змінних. Даний підхід не враховує відносний рух рухомої зони по відношенню до суміжних зон, які можуть бути рухомими або нерухомими. Сітка залишається фіксованою для обчислення. Це аналогічно заморожуванню руху рухомої

частини в певному положенні і спостереження за миттєвим полем потоку у цьому положенні.

Хоча підхід “замороженого ротора” явно є наближенням, він є прийнятним припущенням для багатьох задач. Його можна використовувати для турбомашин в яких взаємодія ротор-статор є відносно не вносить серйозних збурень у потік, а структура течії поблизу інтерфейсу між зонами є відносно не складною. Іншим потенційним використанням моделі “замороженого ротора” є обчислення поля течії, яке буде використовуватися як початкове наближення для розрахунку перехідної рухомої сітки.

Для течії в проточній зоні радіального вентилятора можна визначити рухому систему відліку, яка охоплює робоче колесо та потік, що його оточує, і використати нерухому сітку для області поза робочим колесом (рис. 1).

Потік на виході з робочого колеса, що є інтерфейсною зоною, вважається стаціонарним. Абсолютні значення швидкостей на інтерфейсній межі повинні бути однаковими для рухомої та нерухомої сітки. На межі між двома підобластями дифузія та інші члени в рівняннях переносу потребують відповідних значень швидкостей взятих із суміжної підобласті. Чисельний алгоритм повинен забезпечувати постійність абсолютної швидкості в зоні інтерфейсу, щоб отримати коректні значення сусідніх швидкостей для відповідної підобласті.

Виходячи з аналізу переваг і недоліків різних типів сіток було зроблено вибір на користь багатоблокових гібридних сіток [3], що складаються з декількох структурованих та неструктурованих підобластей. Області з неструктурованою сіткою були побудовані навколо твердих стінок, а решта розрахункової області заповнювалась структурованою сіткою. Такий підхід дозволив виробити єдину методологію розрахунків течій в'язкого суцільного середовища навколо тіл складної геометричної форми.

Для подальших розрахунків в даному дослідженні була побудована багатоблокова гібридна сітка з загальною кількістю $2 \cdot 10^6$ вузлів. Сітка представлена на рис. 2-4. Вона має суттєві згущення поблизу твердих стінок для забезпечення кращої деталізації ефектів у примежовому шарі.

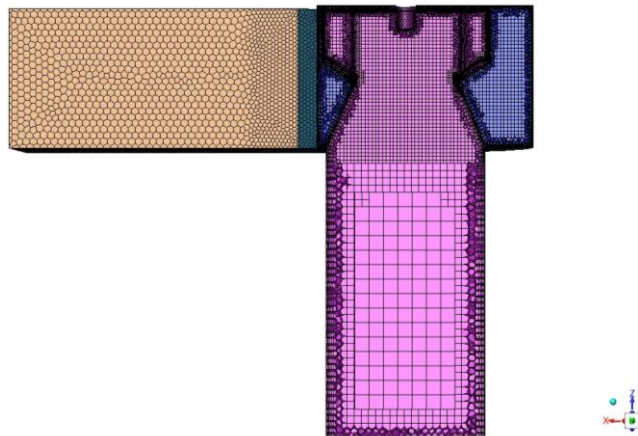


Рисунок 2 – Візуалізація тривимірної розрахункової сітки у горизонтальному перерізі

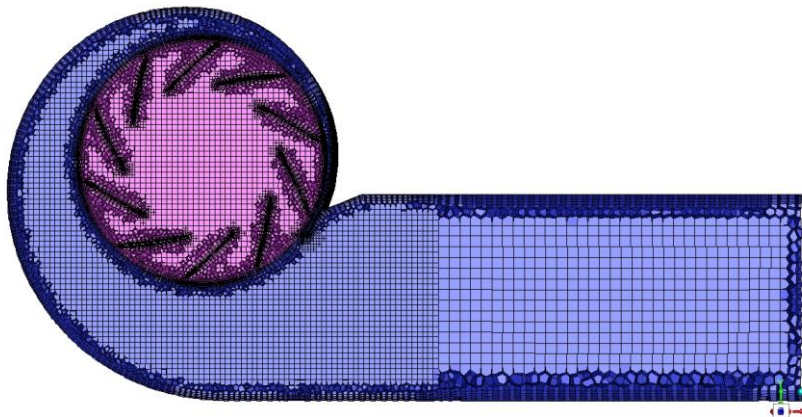


Рисунок 3 – Візуалізація тривимірної розрахункової сітки у фронтальному перерізі

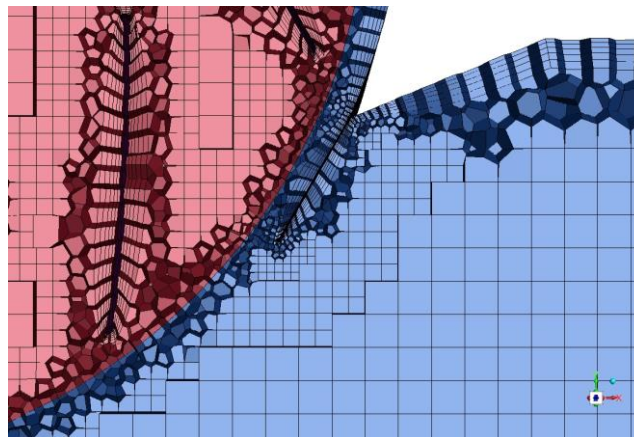


Рисунок 4 – Візуалізація тривимірної розрахункової сітки у зоні язика улітки вентилятора

Заключним кроком в отриманні якісного розв'язку для пересічних областей повинна бути оптимізація багатоблокових сіток. В областях перетинань окремих блоків залишаються лише комірки з мінімальною площею. Ця процедура виконується після формування блоків, коли стають відомі всі донорні та приймаючі вузли розрахункових сіток. Метод оптимізації

пересічних областей засновано на тому, що вузли докладної сітки залишаються як частина обчислювальної області, у той час як для вузлів грубої сітки застосовується інтерполяція з вузлів докладної сітки.

Розроблений в рамках даного дослідження алгоритм оптимізації пересічних областей має високу надійність і виконується в повністю автоматичному режимі.

Висновки. Базовано на підході “замороженого ротора” виконано генерацію гібридної багатоблокової розрахункової сітки для проточної частини радіального вентилятора. Проведені в подальшому розрахунки турбулентної течії на базі сгенерованої сітки [4] показали високу якість отриманих чисельних результатів та задовільне співпадіння з відомими експериментальними результатами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Snyder D., Koutsavdis E., Anttonen J. Transonic store separation using unstructured CFD with dynamic meshing. Technical Report AIAA-2003-3913. 33rd AIAA Fluid Dynamics Conference and Exhibit American Institute of Aeronautics and Astronautics. – 2003.
2. Luo J., Issa R., Gosman A. Prediction of Impeller-Induced Flows in Mixing Vessels Using Multiple Frames of Reference. In IChemE Symposium Series 136. – 1994. – P. 549–556.
3. Chung T. J. Computational Fluid Dynamics, 2nd ed. New York City, USA: Cambridge University Press. – 2009. – 1058 p.
4. Zinchenko A., Arsenyuk M., Gorna O. On the question of performance analysis and design options for centrifugal fan impellers. Computer Hydromechanics: Materials of VIII International Conference, Kyiv: IHM of NAS of Ukraine, 2022. - p. 126.

ON DEVELOPMENT OF HYBRID COMPUTATIONAL MESHES FOR NUMERICAL SIMULATION OF TURBULENT FLOWS IN THE FLOW PART OF CENTRIFUGAL FANS

Andrii Zinchenko, Dmytro Redchyts

Abstract. *An analysis of approaches to the development of computational meshes for the simulation of turbulent flows in areas of complex geometry with moving zones is performed. The pros and cons of multiblock moving grids and the “frozen rotor” approaches are considered. The efficiency of using the “frozen rotor” approach for simulating flows in the flowing part of centrifugal fans is discussed. A method for optimizing the overlapping regions of multiblock meshes is developed. A hybrid multiblock computational grid for the flow part of a centrifugal fan suitable for using the*

frozen rotor approach is generated. The details of its structure are presented. The subsequent simulations of the turbulent flows based on the complex of generated multiblock meshes showed high quality of the obtained numerical results and sufficient consistency with the known experimental data.

Keywords: *numerical simulation, Navier-Stokes equations, computational meshes, centrifugal fans. multiblock hybrid meshes.*

REFERENCES

1. Snyder D., Koutsavdis E., Anttonen J. Transonic store separation using unstructured CFD with dynamic meshing. Technical Report AIAA-2003-3913. 33rd AIAA Fluid Dynamics Conference and Exhibit American Institute of Aeronautics and Astronautics. – 2003.
2. Luo J., Issa R., Gosman A. Prediction of Impeller-Induced Flows in Mixing Vessels Using Multiple Frames of Reference. In IChemE Symposium Series 136. – 1994. – P. 549–556.
3. Chung T. J. Computational Fluid Dynamics, 2nd ed. New York City, USA: Cambridge University Press. – 2009. – 1058 p.
4. Zinchenko A., Arsenyuk M., Gorna O. On the question of performance analysis and design options for centrifugal fan impellers. Computer Hydromechanics: Materials of VIII International Conference, Kyiv: IHM of NAS of Ukraine, 2022. - p. 126.