Model varu pro program Ansys CFX 18

Úloha s modelem varu pro CFD program CFX se skládá z výpočetní sítě v souboru .msh, ze dvou binárních souborů .cfx a .def a ze souboru .ccl s pomocnými parametry.

K modelování dvou fází, kapaliny a páry, se používá vícefázový model Euler-Euler. Primární spojitá fáze je kapalina a sekundární rozptýlená fáze jsou parní bubliny. Rovnice zachování hmoty a hybnosti jsou řešeny zvlášť pro obě fáze. Obě fáze sdílí jedno tlakové pole. Rovnice zachování energie se řeší pro kapalinu a předpokládá se, že pára ve výpočetní oblasti má vždy teplotu sytosti.

Pro modelování turbulence v kapalině byl využit dvourovnicový model SST k-omega. Vliv bublin na turbulenci v kapalině je zohledněn pomocí metody zvyšování turbulentní viskozity, kterou navrhnul Sato. 0-rovnicový model turbulence je použit pro modelování turbulence v páře.

Podchlazený var na stěně se modeluje pomocí modelu dělení tepelného toku podle Kurula a Podowskiho. Podchlazený var na stěně začíná, když teplota povrchu stěny je 0.05 K nad teplotou sytosti. Za místem, kde začal podchlazený var, se tepelný tok ze stěny dělí na tři části: jednofázový konvektivní tepelný tok do kapaliny, tepelný tok na nestacionární ohřev kapaliny u stěny po odpoutání bubliny (quenching) a tepelný tok na odpařování. Vlastnosti kapaliny pro model varu podle Kurula a Podowskiho se berou z pevné bezrozměrné vzdálenosti od stěny $y^+ = 250$. Průměr bublin odpoutávajících se od stěny se počítá z Ünalovy korelace. Hustota aktivních nukleačních pozic na stěně se počítá z korelace Lemmert a Chawla. Součinitel přestupu tepla pro tepelný tok na nestacionární ohřev kapaliny u stěny po odpoutání bubliny se počítá z korelace Del Valle a Kenning.

Přenos hybnosti mezi fázemi se modeluje pomocí následujících sil.

Odporová síla se počítá z korelace Ishii a Zuber. Tato korelace byla vytvořena pro bublinové proudění. Výpočet součinitele odporu závisí na lokálním režimu dvoufázového proudění.

Hydrodynamická vztlaková síla se vyhodnocuje podle korelace Saffman - Mei.

Virtuální hmotová síla se modeluje pomocí Zuberovy korelace. Tento model zohledňuje vliv koncentrace bublin na virtuální hmotovou sílu.

Turbulentní disperze se modeluje pomocí Favreovského středování mezifázové odporové síly.

Efekt lubrikace stěny se v našich simulacích nemodeluje.

Přenos tepla mezi rozhraním a kapalinou se modeluje podle korelace Ranz-Marshall. Přenos hmoty mezi fázemi je přímo úměrný přenosu tepla mezi fázemi.

Rozložení velikostí bublin v proudu se počítá z jednoduchého modelu, který uvažuje podchlazení kapaliny a třecí napětí v kapalině. Tento model byl kalibrován na experimentech DEBORA.

Fyzikální vlastnosti vody a vodní páry se počítají z tabulek IAPWS-IF97 (International Association for the Properties of Water and Steam - Industrial Formulation 1997). Fyzikální vlastnosti kapaliny a páry chladiva R12 se počítají podle tabulek ASME.

Kritérium pro předpověď krize varu z lokálních parametrů je založeno na objemovém podílu páry na stěně, přehřátí stěny a třecího napětí mezi kapalinou a stěnou.

Pro diskretizaci advekčních členů v řešených rovnicích včetně rovnic pro turbulenci byla použita schémata vyšších řádů (high-resolution). Pro řešení objemového podílu páry bylo použito sdružené schéma (coupled scheme).

Podrobnosti o testování modelu varu jsou uvedeny v naší odborné zprávě za rok 2018:

Vyskočil L., Železný V., Šunková V., Zácha P.: Odborná zpráva z projektu TAČR Epsilon TH02020360 „Modelování vzniku CHF - krize varu pomocí výpočetních programů typu CFD“, rok 2018. ÚJV-Z5083, 12/2018, ÚJV Řež, a. s. a ČVUT v Praze, Fakulta strojní.

Podrobnosti o použitých matematických modelech fyzikálních jevů jsou uvedeny v naší zprávě za rok 2017:

Vyskočil L., Železný V., Šafaříková V., Zácha P.: Odborná zpráva z projektu TAČR Epsilon TH02020360 „Modelování vzniku CHF - krize varu pomocí výpočetních programů typu CFD“. ÚJV-Z4909, 12/2017, ÚJV Řež, a. s. a ČVUT v Praze, Fakulta strojní.