

ХИДРОДИНАМИЧЕН АНАЛИЗ НА ПОТОЦИТЕ В КОЖУХОТРЪБЕН ДВУХОДОВ ТОПЛООБМЕННИК

Валентин ЧЕРНОВ, Златка ГЕШКОВА

Химикотехнологичен и металургичен университет

бул. Климент Охридски №8, 1756 София

Резюме: *Обект на настоящата работа са хидродинамичните потоци в тръбното и междутръбното пространство на стандартен ТЕМА двуходов кожухотръбен топлообменник с U тръби. Анализът е проведен чрез компютърна симулация на процесите в средата на ANSYS Workbench CFX. Получени са резултати за възловите стойности на налягането и скоростта и векторното поле на скоростта в двете области. Направени са препоръки за подобрене на конструкцията на топлообменника.*

Ключови думи: *кожухотръбен топлообменник ТЕМА, компютърна симулация*

ВЪВЕДЕНИЕ

Въпреки че изпълнението на кожухотръбните топлообменници е напълно стандартизирано, конкретното им приложение налага промени в конструкцията, отговарящи на конкретните експлоатационни условия. Това изисква наличието на надеждна методика за анализ на протичащите процеси. Такава методика може да бъде изградена на базата на изчислителния апарат на метода на крайните обеми, интегриран в по-вечето комерсиални CAD\CAE продукти. В настоящата работа се предлага методика на анализ чрез ANSYS Workbench CFX, основана на реални 3D геометричен и физичен модел, начални и гранични условия. Получените резултати за разпределение на скоростите и налягането в тръбното и междутръбното пространство могат да послужат за по-нататъшен анализ на топлообмена и за подобряване на конструкцията на кожуха и входните камери на тръбите.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ЧАСТ

1. Изграждане на 3D модел в средата на ANSYS Workbench Design Modeler.

При анализът на зададения сборен чертеж на рекуперативния кожухотръбен топлообменник бяха измерени следните размери:

- вътрешен диаметър на кожуха – 600 mm;
- габаритна дължина на топлообменника – 3 020 mm;
- дължина на междутръбното пространство – 2 300 mm;

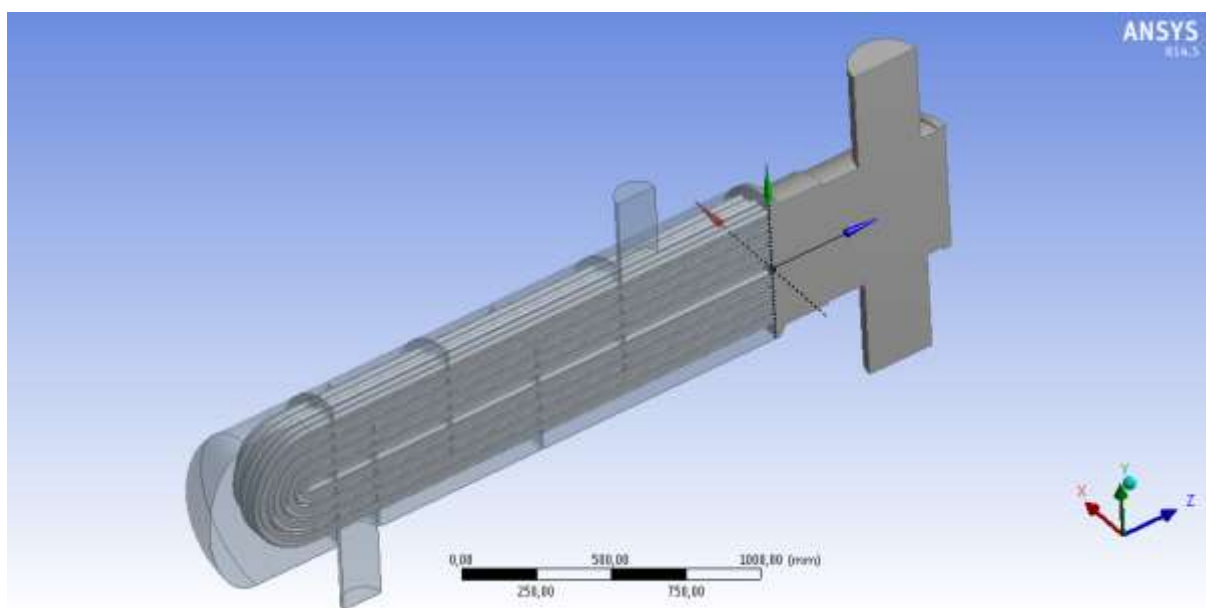
- разстояние между осите на входния и изходния щуцер на междутръбното пространство - 1 179 mm;
- разстояние от границата на междутръбното пространство и входно-изходните камери на тръбното пространство до изходния щуцер на междутръбното пространство – 526 mm;
- височина на щуцерите на междутръбното пространство от оста на топлообменника – 580 mm;
- диаметър на щуцерите на междутръбното пространство – 152,4 mm;
- дебелина на преградите в междутръбното пространство – 10 mm;
- височина на преградите в междутръбното пространство – 444,3 mm;
- брой на преградите в междутръбното пространство – 4;
- дължина на входната и изходната камера на тръбното пространство – 720 mm;
- преобладаващ диаметър на входната и изходната камера на тръбното пространство – 250 mm;
- разстояние от границата на междутръбното пространство и входно-изходните камери на тръбното пространство до оста на щуцерите на тръбното пространство – 495 mm;
- височина на щуцерите на тръбното пространство от оста на топлообменника – 640 mm;
- диаметър на щуцерите на тръбното пространство – 254 mm;
- диаметър на тръбите – 25 x 2,5 mm;
- дължина на хоризонталния участък на тръбите – 1 877 mm;
- стъпка на тръбите в тръбния сноп – 32 mm;
- ъгъл между центровете на тръбите в два съседни реда на тръбния сноп – 30°;
- брой на редовете в тръбния сноп – 8 в един ход;
- брой на ходовете – 2;
- радиусите на закръгление на тръбите, както и разположението им в тръбния сноп са дадени в чертежа.

За изчертаването на геометричния модел на топлообменника в Design Modeler бяха използвани следните функции:

- sketch (copy, paste, move, rotate, cut, dimensions) – създава равнини елементи (линии, окръжности и пр.)
- revolve – за създаване входната камера на тръбното пространство
- extrude – за създаване входния щуцер на тръбното пространство
- pattern – при създаването на окръжностите на тръбите
- sweep – за създаването на тръбите от получените със sweep окръжности и осите им
- body operation – mirror – за създаването изходната камера на тръбното пространство
- Boolean operation – subtract
- freeze

- unfreeze
- primitives – cylinder – за създаването тръбното пространство и щуцерите му
- symmetry

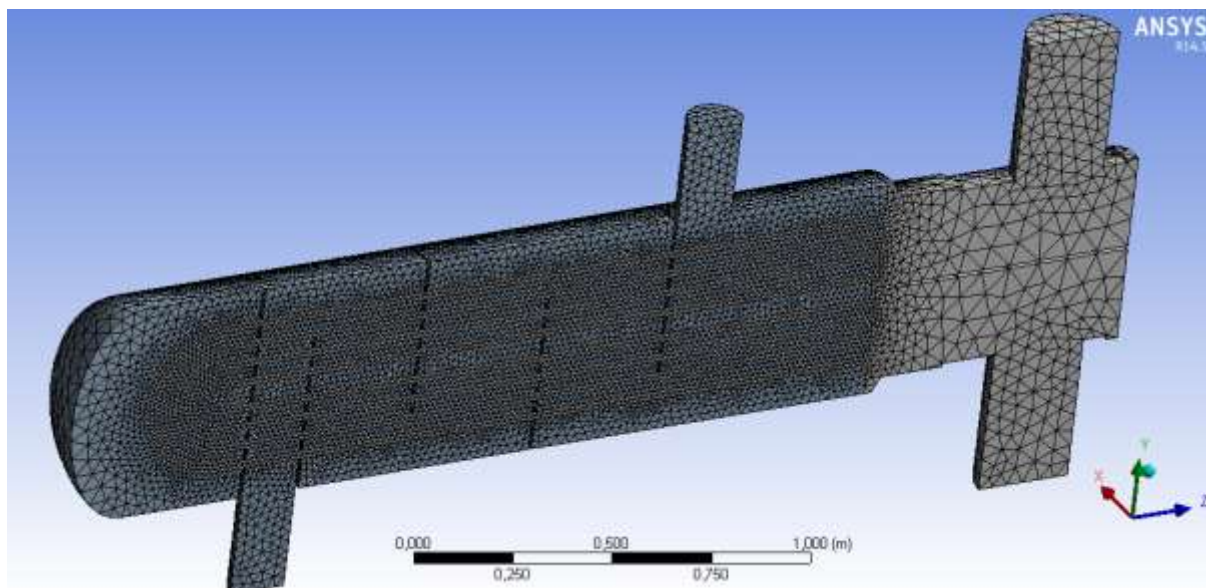
Чрез използването на функцията freeze вече създаденото тръбно пространство беше „замразено“ (замразените обекти не участват в операциите направени след замръзването им). Това позволява в последствие да се създаде и междутръбното пространство без това да променя с нещо тръбното. По този начин се получиха две отделни тела (обекти). С булевата операция subtract бяха извадени тръбите от междутръбното пространство. Топлообменникът има вертикална равнина на хидродинамична и термодинамична симетрия преминаваща надлъжно през средата му. Това се реализира с функцията symmetry, чрез която беше зададена равнина на симетрия, преминаваща през оста на топлообменника и съвпадаща с координатната равнината XOZ (Фиг. 1).



Фигура 1

2. Създаване на елементна мрежа.

Решението по метода на крайните обеми изисква в разглежданата област да бъде създадена мрежа от отделни контролни обеми. Създаването на мрежата беше извършено с настройките по подразбиране на Meshing средата. Така създадената елементна мрежа се получи с твърде много елементи (над 4 000 000), поради което беше зададен минимален размер на елементите 15 mm. Получената мрежа е с 915 595 елемента и 267 339 възела, като максималния размер на елементите е 300 mm (Фиг. 2).



Фигура 2

3. Настройка на модела.

Настройките на модела се извършват в средата Setup – CFX-Pre. Двете тела, създадени в Design Modeler-а в Setup, са в един domain (с име по подразбиране Default Domain). Границата между двете среди се избира да бъде No Slip Wall за условията при стените (Mass and Momentum опцията), Smooth Wall за грапавостта на стените и Adiabatic за топлообмена (т.е. няма да се разглежда топлообмена между двата флуида). Дебелината (2,5 mm) и материала (стомана) на тръбите се задават от Interfaces.

3.1. Свойства на флуидите.

Настройката Domain Type се задава Fluid Domain, за Reference Pressure се задава 1 atm (зададеното (референтно) налягане е равно на атмосферното) и Stationary за Domain Motion. Задават се и следните стойности за флуида (газ) в междутръбното пространство:

- динамичен вискозитет $\mu = 0,011 \text{ mPa}\cdot\text{s}$
- плътност $\rho = 9,38 \text{ kg/m}^3$
- моларна маса $M = 3,90 \text{ g/mol}$

И за флуида (газ) в тръбното пространство:

- динамичен вискозитет $\mu = 0,017 \text{ mPa}\cdot\text{s}$
- плътност $\rho = 13,26 \text{ kg/m}^3$
- моларна маса $M = 8,85 \text{ g/mol}$

Тези свойства се задават, като материалът Airat25C се копира и след това се редактират необходимите полета, като освен това се задава и Continuous Fluid.

От таба Fluid Models се задава и k-Epsilon модел за турбулентността.

3.2. Гранични и начални условия.

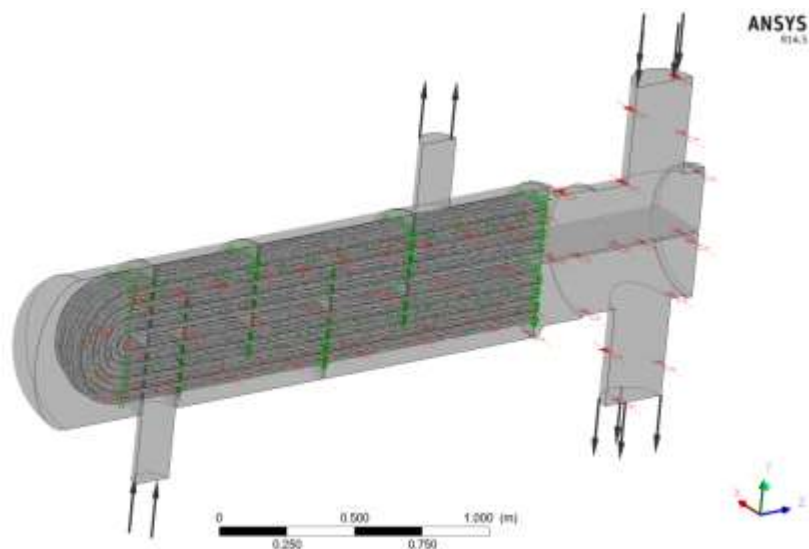
Новите гранични условия се задават с функцията Boundary. На входовете се задава масовият разход (изчислен в [kg/s]) на флуидите, докато за изходите се задава статичното налягане. И на входовете и на изходите се задава течение със скорост по-малка от тази на звука (Flow Regime – Subsonic). Конкретните стойности са:

- масов разход на входа на междутръбното пространство $m = 1,884389$ kg/s и степен на турбулизация на потока – Medium (Intensity = 5 %)
- статично налягане на изхода на междутръбното пространство $p = 76,1$ bar
- масов разход на входа на междутръбното пространство $m = 6,543833$ kg/s и степен на турбулизация на потока – Medium (Intensity = 5 %)
- статично налягане на изхода на междутръбното пространство $p = 58$ bar

Началните условия се приемат да бъдат по подразбиране.

С функцията Boundary се задава и равнината на симетрия – това става, като се избере за Boundary Type – Wall и се избират повърхнините, образуващи равнината на симетрия.

Всичките тези настройки са отразени върху модела чрез съответните маркировки и са показани на Фиг. 3.



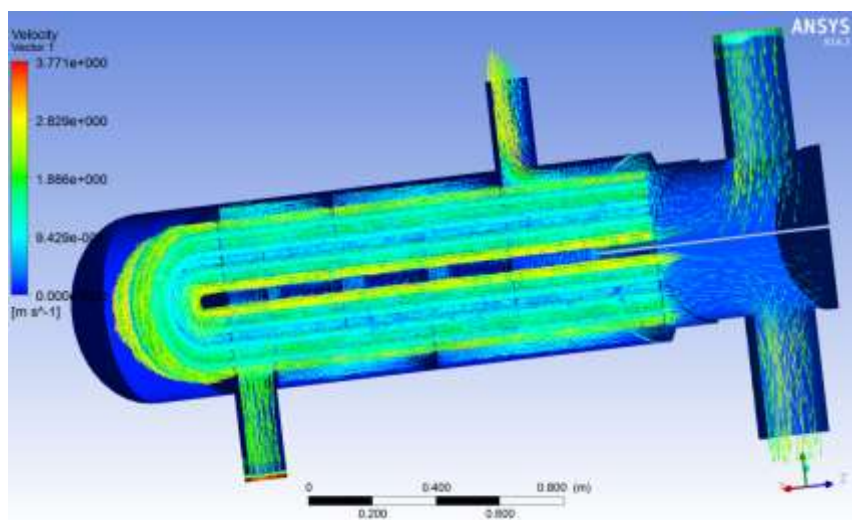
Фигура 3

ПОЛУЧЕНИ РЕЗУЛТАТИ

Извършването на симулационния процес става от средата CFX-Solver Manager. При първото стартиране на симулацията solver-ът показва съобщение за грешка с предложение да се зададе на параметъра check isolated regions стойност false от Expert Parameters. Промяната на

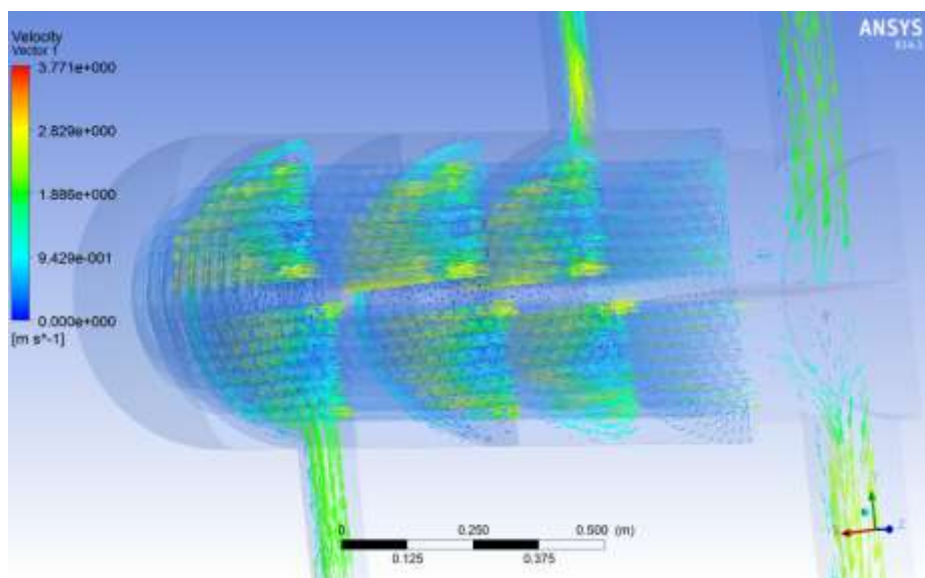
този параметър става от средата Setup – CFX-Pre → Solver → Expert Parameters → Convergence Control → Convergence and Runtime Control. След тази промяна при повторното стартиране се осъществиха сто итерации при сходимост на изчислителния процес. При компютърна система PC i7 2.00 GHz, 8GB RAM, изчислителният процес до получаване на резултати продължи 15120 s.

Резултатите от симулацията се визуализират в средата CFD-Post. Скоростните вектори в равнината на симетрия са показани на Фиг. 4.



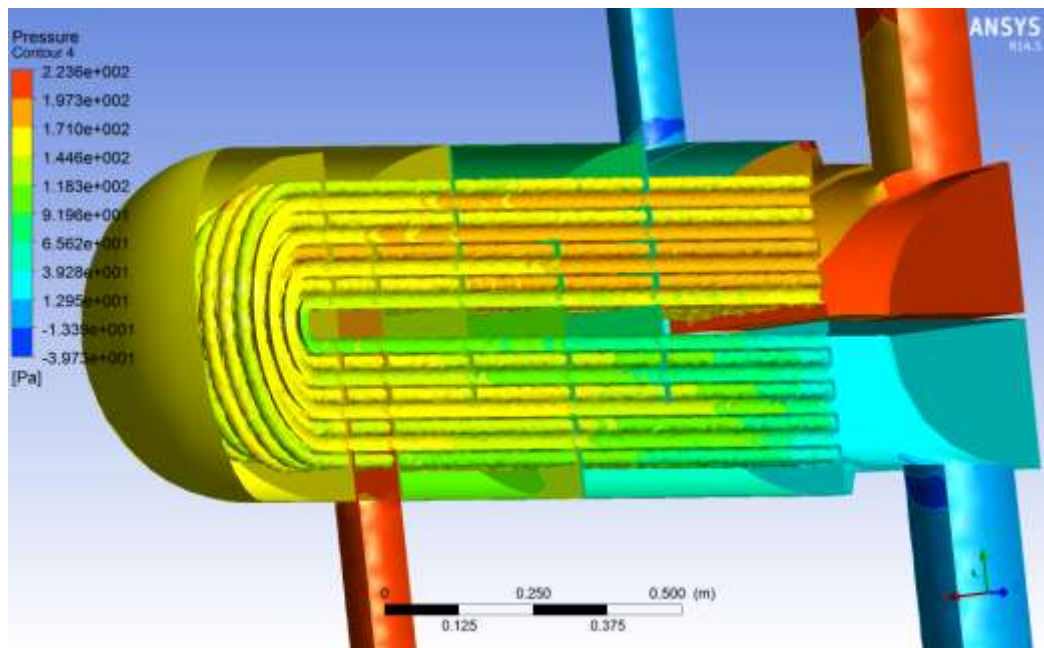
Фигура 4

Скоростните вектори в равни напречни на оста на топлообменника и минаващи през центрите на щуцерите, границата между тръбното и междутръбното пространство, както и през средата на междутръбното пространство са показани на Фиг. 5.



Фигура 5

Налягането упражнявано от флуидните потоци в двете пространства върху стените на топлообменника се вижда на Фиг. 6.



Фигура 6

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При анализа на получените резултати могат да бъдат посочени две обстоятелства, които могат да влошат работата на топлообменника.

1. Завихряне на потока в близост до цилиндричната стена на кожуха

От фиг.5 се вижда, че част от потока, преминаващ през междутръбното пространство, се отклонява и се насочва към пространството между тръбния сноп и кожуха. Тази част не участва в топлообмена и наличието и намалява ефективността на работата му. Този ефект може да бъде намален чрез поставяне на напречни ребра от вътрешната страна на кожуха, които да прекъснат потока и да го върнат в междутръбното пространство.

2. Области с отрицателно налягане при изхода на двете области

От фиг.6 се вижда, че в началото на двата изходни щуцера се формират области с отрицателно налягане, което намалява пропускателната способност. От анализа на потоците, показани на фиг.4, може да бъде направено заключение, че това се получава от голямата дължина на изходните камери. Този отрицателен ефект може да бъде намален с поставяне на напречни прегради в камерите, които да насочат изходящия поток директно към щуцерите.

Инж. В. Чернов и инж. З. Гешкова са студенти в специалност "CAD/CAE в химичните технологии" при Факултет по химични технологии, ХТМУ-София. Анализът е проведен под ръководството на доц. В. Илиев, кат. "Приложна механика", ХТМУ-София.

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

1. Стандарти ТЕМА ВЕУ, Tubular Exchanger Manufacturers Association, <www.tema.org>, 2013.
2. ANSYS CFX Theoretical guide, ANSYS Inc., CFXV14.5 release, 2013.
3. Iliev V., E. Mikhailov, N. Penkova. Finite element method, Lecture notes, UCTM-Sofia, 2009.