

Двофазни токови у хоризонталним и вертикалним цевима

Марко Јарић

Двофазна струјања су струјања флуида (систем гас(пара)-течност) које карактерише постојање међуфазне граничне површине која има различите и сложене облике у простору и времену [1], тако да ако је на пример гас (пара) расподељен у течной фази у облику сферних мехура онда раван управна на правац струјања која пресеца површи раздела фаза, садржи мноштво кружница које дефинишу међуфазне површи. Немогуће је одредити детаљне расподеле ових површи у простору и времену. Услед деформација у струјном пољу, услед сила и површинских напона, облици међуфазних површи су веома различити и теже сферним облицима (капи, мехури). Класификација њихових типичних облика и расподела назива се структуром двофазног тока или режим струјања [2]. С обзиром да се у инжењерској пракси већина проблема односи на кретања двофазних система у цевима и каналима, стога ће се описати основни режими струјања у оваквим геометријским облицима.

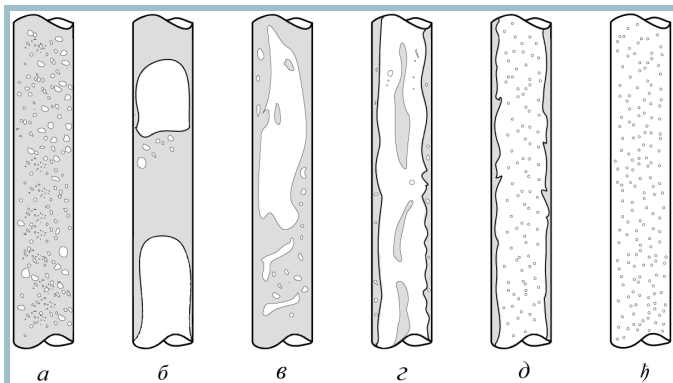
Струјање двофазне мешавине у вертикалним цевима и каналима

Код струјања у вертикалним цевима разликују се следећи струјни режими

- мехурасти (bubble flow);
- клинаст (plug/slug flow);
- пенести (churn flow);
- магличаст (wispy-annular flow);
- прстенаст (annular flow);
- капљичаст (spray/drop flow).

Код мехурастог струјања (слика 1а), течност представља континуалну фазу, док се гас налази у оквиру мехурића у течном континууму. Мехурићи путују сложеним кретањем кроз ток, међусобно се сударају и по правилу су различитих облика.

Клинасто/командно струјање се збива у вертикалним системима (слика 1б) када мехури теже да достигну величине пречника канала (цеви), док је њихов облик сличан



Слика 1.

Режими струјања у вертикалним цевима: а) мехураст, б) клинаст, в) пенест, г) магличаст, д) прстенаст, е) капљичаст

облику метка (bullet-shaped). Овај мехур се често назива Тајлоров мехур, и окружен је танким филмом течности. Течност између Тајлорових мехура садржи дисперговане мехуре мањих димензија.

Пенести режим се збива при већим брзинама гаса. У овом режиму (слика 1в) Тајлорови мехури из клинастог режима се распадају и прелазе у један нестабилан режим који се карактерише успевањем или осцилаторним кретањем течности. Овај режим је много значајнији код широких цеви док је код уских цеви, регион пенестог режима мали. Пенест режим са својим осцилаторним карактеристикама, је значајан режим и покрива широк опсег протока. При умереним протоцима гаса, то се може посматрати као рашчлањивање клинастог режима, са површним “мостовима” течне фазе кроз цеви. При великим протоцима ово се може посматрати као дегенеративни облик прстенастог режима са променљивим правцем струјања филма и веома великим таласима који се формирају на површини. Често се због својих карактеристика овај режим назива полупрстенасти ток [3].

Прстенасто комадиласти режим (слика 1г) садржи релативно дебели течни филм на зиду цеви, док је такође удео течности у парном (гасном) језгру срујања значајан. Филм се одликује мехуровима малих димензија док се течна фаза у језгру тока састоји од капи великих димензија које се групишу стварајући течна влакна. Овај режим струјања се уочава при великим масеним протоцима струјања флуида [4].

Прстенасто струјање, је конфигурација двофазног тока (слика 1д) коју карактерише кретање филма течности на зиду цеви и кретањем гаса у центру. Делови течне фазе могу бити ношени као капљице централним гасним језгром. Уствари, за неке протоке, главнина течности и путује као капљице кроз цев. Међутим, једино за случајеве преноса топлоте где зидови постану превише врући да би били суви, се јавља струјање без течног филма. Измена течности збива се између филма и капљица. Под одређеним условима може се десити да мехури гаса буду увучени у течни филм [3].

Као резултат испаравања, посебно при великим брзинама парне или гасне фазе, долази до дезинтеграције течног филма на зиду цеви и формирања капљичастог режима струјања (слика 1е). Ово се посебно дешава при испаравању на високом притисцима [4].

Претходно описани режими струјања односе се на струјање двофазних система ветрикално навише, код струјања наниже појављује се исти режими са изузетком пенестог режима.

Струјање двофазне мешавине у хоризонталним цевима и каналима

Струјање двофазних мешавина у хоризонталним цевима може се поделити у 6 режима и то:

- мехураст (bubble flow);
- развојен (stratified flow);

- таласаст (wavy flow);
- клинаст (plug flow);
- комадни (slug flow);
- прстенаст (annular flow) [2].

Мехураст ток, сличан је мехурастом режиму (слика 2а) при вертикалном струјању, и садржи гасне мехуре растворене у течном континууму. При јако великим брзинама течне фазе када је интензитет турбуленције довољно велик, долази до дисперзије мехура по попречном пресеку, у осталим случајевима доминантна је сила гравитације и долази до акумулације гасних мехура на горњем делу цеви.

Раздвојено струјање (слика 2б) карактерише се течном фазом која струји у доњем делу цеви и гасовитом фазом која струји изнад ње.

Таласаст ток (слика 2в), настаје при повећању брзине гаса која проузрокује формирање таласа на граничном слоју раздвојеног тока.

Клинаст режим (слика 2г) се карактерише карактеристичним метак-обликом гасних мехура, какви се могу видети код струјања у вертикалним цевима, међутим, овде се они крећу уз горњи део цеви.

Командни режим (слика 2д) је као и клинасти режим непредвидив. Гасни мехури су већи, док течна фаза садржи доста мехура мањих димензија. Често се у литератури користи термин “полукомадни режим (слика 2ђ)” да опише случајеве када таласи не испуњавају цев у потпуности. Међутим, правилније би било посматрати овај режим као део таласног режима.

Прстенасти режим карактерише континуално парно (гасно) језгро и филм течне фазе на доњем делу цеви (слика 2е). Под одређеним условима струјања може се десити да течност буде увучена као капљице у гасно језгро. Сила гравитације проузрокује да филм течности буде дебљи на доњем делу цеви, међутим како се брзина повећава филм постаје равномернији по обиму цеви [3].

Закључак

Описани режими струјања се односе на струјања двофазних система у вертикалним и хоризонталним цевима. О овим режимима се мора водити рачуна при пројектовању и димензионисању апарата ради правилног вођења одговарајућег производног процеса и поузданог рада целокупног процесног постројења.

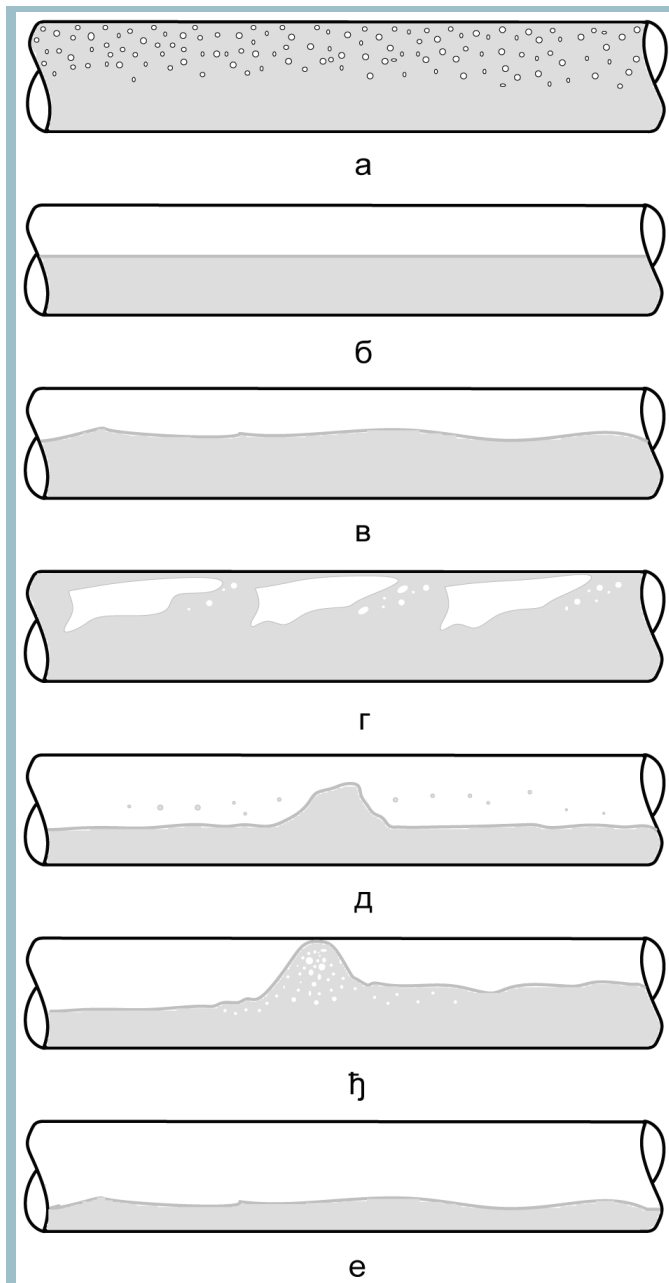
Литература

- [1] *Heat Exchanger Design Handbook*, Hemisphere Publishing Washington, 1986.
- [2] **Јарић, М.**, *Теорија сличности и димензијска анализа. Примена у механици флуида. Одабрани проблеми*, Семинарски рад из механике флуида, Машински факултет

Београд, 2007.

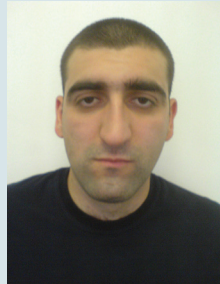
[3] **Marshall, R.**, *Two-phase flow patterns*, Chemical Engineering, Novembar 2006, page 55.

[4] **Baehr, D. H., Stephan, K.**, *Heat and mass transfer*, second edition, Springer-Verlag, Berlin 2006.



Слика 2. Режими струјања у хоризонталним цевима а) мехураст, б) раздвојен, в) таласаст г) клинаст д) полукомадни, ђ) комадни е) прстенасти [3]

Аутор



Марко Јарић, Иновациони центар Машинског факултета Универзитета у Београду д.о.о., Краљице Марије 16, 11000 Београд

mjaric@mas.bg.ac.yu тел: 063/435-779

Дипломирао је на Машинском факултету Универзитета у Београду 2005. на катедри за процесну технику. Од јула 2006. запослен је у Иновационом центру Машинског факултета Универзитета у Београду д.о.о., у својству истраживача сарадника. Аудиторне вежбе одржавао је из предмета: Опрема процесних инсталација, Цевоводи и арматура, Конструисање процесне опреме, Апарати и машине у процесној индустрији. Учествовао је на изради више техничких документација, и пројеката које је финансирао Министарство за науку и заштиту животне средине.