

Никола Живковић, Предраг Стефановић, Дејан Цветиновић

Институт за нуклеарне науке „Винча”, Београд, Србија

Нумеричка симулација утицаја положаја регулационих клапни у каналу аеросмеше на расподелу честица угљеног праха

Оригинални научни рад

UDC: 532.529:66.011

BIBLID: 0350-218X, 34 (2008), 1, 45–54

Регулација дисперзије честица угљеног праха у каналу аеросмеше који води честице угљеног праха ка плазма зони је један од кључних проблема приликом рада енергетских котлова. Да би на одговарајући начин усмерили честице угљеног праха, систем регулационих клапни је постављен у каналу аеросмеше пре зорионичких канала. Свака од зрупа регулационих клапни има своју улогу, а може бити постављена у различитим угаоним положајима. Добијени резултати представљају утицај сваке од зрупа. Резултати представљају расподелу честица угљеног праха у каналу аеросмеше на котлу блока Термоелектране „Никола Тесла” – А1. Дисперзија величине честица у улазном пресеку канала смањена је униформном. Представљени резултати су добијени нумеричком симулацијом, помоћу рачунарског софтвера за нумеричку симулацију проблема двофазног струјања. Софтвер је написан у програмском језику Фортран, и развијен у Лабораторији за термотехнику и енергетику у Институту за нуклеарне науке „Винча”. Улазни подаци за нумеричке прорачуне, као што су брзински и профил концентрација у улазном пресеку, смањени су равномерним. Конинуална фаза (гасна фаза) претворена је Ојлеровим приступом. Дисперзна фаза (честице угљеног праха) моделирана је Лагранжовим приступом. Модел узима у обзир срезање фаза PSI-CELL методом. Турбуленција је моделирана стандардним k-ε моделом. Модел претвара честице као идеалне сфере. Да би прецизно одредили кретање честица, све релевантне силе су инкорпориране у моделу. Резултати укључују поље и профил брзина конинуалне фазе и дисперзију масеног протока честица угљеног праха, у излазном пресеку канала аеросмеше.

Кључне речи: двофазни ток, термоелектрана, моделирање, честице, турбуленција

Увод

Плазма технологија нашла је своје место у енергетици пошто је њеном применом могуће извршити замену скупог течног горива (мазута) знатно јефтинијим

енергентом – угљеним прахом. Термална плазма заправо служи за иницирање процеса термохемијске трансформације и припреме горива, делимичног сагоревања и гасификације угљеног праха.

Суштина замене течног горива угљеним прахом базира се на локалном коришћењу ваздушне нискотемпературске плазме за термохемијску припрему горива у каналу аеросмеше. Плазма зона је лоцирана у млинском кругу после млинова, пре уласка аеросмеше у ложиште котла. У каналу аеросмеше, на коти 13 m уз помоћ система регулационих клапни усмеравају се честице угљеног праха ка делу горионика са уграђеним плазматронима. На коти 17 m непосредно (неколико метара) пре уласка у ложиште радијално на канал аеросмеше позиционирани су плазма генератори – плазматрони. Електричним пражњењем, помоћу високог напона и једносмерне струје, при протоку ваздуха између електрода, генерише се ваздушна плазма излазне температуре од око 3000 K. Пролазећи кроз канале, угљени прах у контакту са ваздушном плазмом подвргнут је термохемијској припреми. У плазма зони (непосредна околина плазма генератора), плазмом се припаљује веома мала маса аеросмеше и тиме започиње ланчани процес термохемијске припреме угљеног праха. Детаљан опис плазма система на блоку А1 Термоелектране „Никола Тесла” описан је у [4].

Проблем са којим се сусрећемо приликом практичне реализације плазма технологије за стабилизацију сагоревања је остварити потребне протоке честица угљеног праха и гасне фазе и концентрација честица угљеног праха у делу канала (прстима канала) аеросмеше са уграђеним плазма генераторима. Описани проблем може да се реши одговарајућим позиционирањем, једне или свих група регулационих клапни у каналу аеросмеше, чиме се на одговарајући начин усмеравају гасне, односно чврсте фазе ка прстима канала аеросмеше у којима су позиционирани плазматрони. Применом нумеричке симулације и одговарајућег софтвера за моделирање двофазног струјања система гас – чврсте честице, могуће је извршити симулацију већег броја различитих режима струјања. Тиме је значајно скраћено време испитивања, пошто није потребно спровођење низа експеримената на самом постројењу.

У раду су приказани резултати нумеричке симулације, дистрибуције угљеног праха у каналу аеросмеше. Приказани резултати обухватају поља брзина континуалне фазе, профиле брзина у излазном пресеку и расподелу масених протока по прстима канала аеросмеше за различите угаоне положаје регулационих клапни.

Канал аеросмеше и систем регулационих клапни

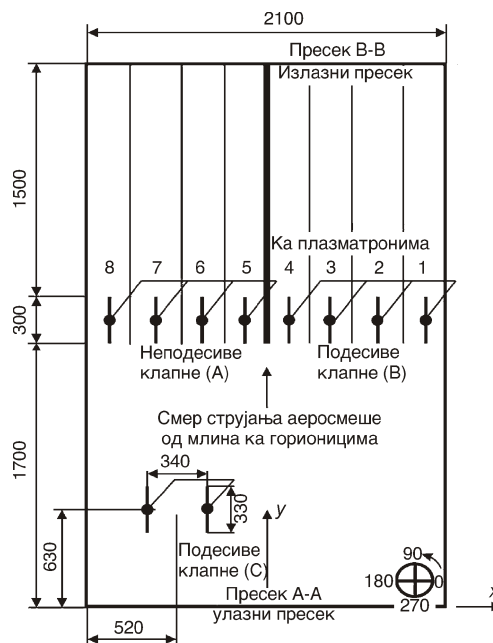
Котловско постројење Термоелектране „Никола Тесла” – А, 210 MW снабдева се угљем из бункера сировог угља. Помоћу дозатора и додавача, сирови угаљ из бункера транспортује се до канала рециркулационих гасова, затим слободним падом кроз канал рециркулационих гасова, долази до вентилаторског млина. Вентилаторски млин има вишеструку улогу, да уситни угљени прах, додатно га осуши и транспортује даље. У каналу аеросмеше, на коти 13 m уз помоћ система регулационих клапни постављених у оптималан угаони положај за одговарајући радни режим усмеравају се честице угљеног праха ка делу горионика са уграђеним плазматронима. На коти 17 m непосредно (неколико метара) пре уласка у ложиште радијално на канал аеросмеше позиционирани су плазма генератори – плазматрони.

У циљу подршке плазма систему извршена је реконструкција постојећих група клапни (А и В) и уведена је група од две клапне (С). Реконструкцијом клапни А и В њихов заједнички погон је раздвојен, тако да четири клапне које се налазе у каналима који воде ка плазматронима (В) имају независан погон од преостале четири клапне (А). Уведен је нови систем клапни (С) које је могуће поставити у угаоне положаје од 0–90°. Правило одређивања угаоног положаја клапни приказан је у доњем десном углу на сл. 1.

Модел струјања двофазне смеше

За одређивање профила брзина и концентрације чврсте фазе развијен је Ојлер-Лагранжов (Euler, Lagrange) модел вишефазног струјања. Гасна фаза се третира Ојлеровим приступом, а дисперзна фаза Лагранжовим. Ово значи да су сви параметри честица искључиво функције времена [2]. Иако то практично значи да се у једначинама кретања честица време појављује експлицитно, усредњене карактеристике дисперзне фазе за довољно дуг период времена се не мењају тако да се могу сматрати стационарним. Модел узима у обзир спрезање фаза путем PSI-CELL методе [1]. У складу са том методом целокупан утицај дисперзне фазе на континуалну фазу сведен је на постојање додатног изворног члана у једначинама континуалне фазе. То је изводљиво само у случајевима када је запремина коју заузима дисперзна фаза веома мала у односу на запремину коју заузима континуална фаза, и која се у том случају у потпуности може сматрати њутновским флуидом. Турбуленција је моделирана стандардним двоједначинским $k-\varepsilon$ моделом, које уз две Навије-Стоксове једначине за компоненте брзине и једначину континуитета представљају систем од пет парцијалних диференцијалних једначина које описују струјање континуалне фазе.

Попречна димензија праве деонице канала релативно је велика, утицаји бочних зидова могу се занемарити, тако да је проблем разматран као дводимензионални. Иако представља грубу идеализацију, честице се третирају као идеалне сфере. Ово је стандардна метода чак и за мале величине честица реда величина 100 μm какве су разматране у раду. Да би се кретање честица што тачније одредило, модел обухвата све релевантне силе. Постоје две класе сила, силе континуалног дејства и силе импулсног дејства. Извор првих је присуство континуалне фазе и гравитација, док су



Слика 1. Канал аеросмеше са системом регулационих клапни

ове друге последица интеракције честица са границама струјног простора (зидовима). За њихово одређивање усвојени су модели приказани у [3, 5, 7].

Нумеричка мрежа уздужне секције канала аеросмеше, подељена је на 210 сегмената у хоризонталном правцу и 144 сегмената у вертикалном правцу. На тај начин је домен који посматрамо подељен на 30240 идентичних правоугаоних ћелија.

Резултати прорачуна

Улазни параметри у нумеричким прорачунима били су:

- фракциони састав угљеног праха,
- угаони положаји три групе регулационих клапни (табл. 1),
- профил брзина гасне фазе у улазном пресеку био је униформан и износио је 20 m/s и
- расподела честица угљеног праха у улазном пресеку била је равномерна.

Нумерички прорачуни обухватају шест различитих режима. Сваки од режима, разликује се од осталих по угаоном положају сваке од група регулационих клапни које су постављене под различитим углом, при чему су групе клапни А увек биле постављене у отвореном положају, односно под углом од 90°, клапне В заузимале су три дискретна угаона положаја зависно од режима (90, 60 и 45°), и клапне С су заузимале два дискретна угаона положаја (60 и 30°). На приказаним дијаграмима на х-оси нанесена је ширина канала 2,1 m (од 1,05 до 1,05 m), односно број прста канала аеросмеше, а на у-оси разматране величине, брзина гасне фазе (m/s) или процентуални масени удео протока честица угљеног праха (%). Дистрибуција величина честица у нумеричким прорачунима била је: фракција 1 (30–60 μm, 25%), фракција 2 (60–90 μm, 15%), фракција 3 (90–200 μm, 32%), фракција 4 (200–500 μm, 18%), фракција 5 (500–1000 μm, 6%) и фракција 6 (>1000 μm, 5%) и сматрана је равномерном у улазном пресеку канала.

Улазни параметри, брзински профил гасовите фазе и профил концентрација, односно дистрибуција пречника честица, у нумеричким прорачунима намерно су узети као униформни. Са тако одређеним улазним подацима за сваки од описаних режима у табл. 1. јасно се може установити утицај сваке од група регулационих клапни на брзинско поље и на расподелу масених протока честица угљеног праха по прстима канала аеросмеше. Режији 1 и 2 приказују утицај клапни С при отвореном положају

клапни А и В, Режији 3 и 4 приказују утицај клапни С при притвореним клапнама В за угао од 60° док Режији 5 и 6 приказују утицај клапни С при притвореним клапнама В за угао од 45°, табл. 1.

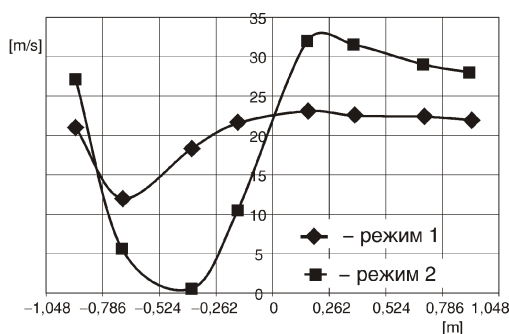
Таблица 1. Разматрани Режији у нумеричким прорачунима

Положај	Клапне А [°]	Клапне В [°]	Клапне С [°]
1	90	90	60
2	90	90	30
3	90	60	60
4	90	60	30
5	90	45	60
6	90	45	30

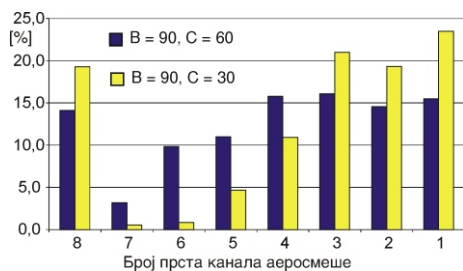
На дијаграму на сл. 2. приказани су профили брзина у излазном пресеку за Режији 1 и 2. Код ових Режији групе клапни А и В биле су постављене у отвореном положају и међан је само угао положаја клапни С. За Режији број 1 клапне С су биле постављене под углом од 60°, а за

режим број 2 под углом од 30° . При овако позиционираним регулационим клапнама А и В, утицај клапни С на поље брзина у каналу је највећи. При положају клапни С од 60° брзине гасне фазе у делу канала са десне стране су незнатно повишене, за 2–3 m/s у односу на улазни пресек, док је у делу канала са леве стране дошло до пада брзина, а поготову у седмом прсту канала за око 8 m/s. Овај пад брзина, последица је испречености клапни струји гаса, односно оне представљају благу препреку струјању гасовитих продуката сагоревања и ваздуха. Међутим, при положају клапни С од 30° , клапне су јако испречене струјању гаса на левој страни канала, стварајући пригушење и пад брзина струјања, док је на десној страни канала, дошло до великог пораста брзина, достижући максималну вредност у четвртом прсту канала (око 33 m/s), (сл. 2).

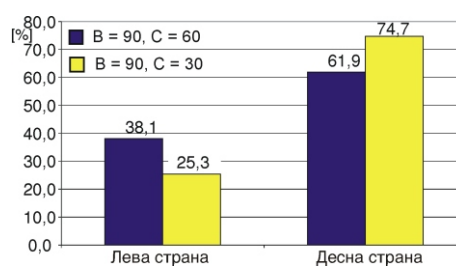
На дијаграму на сл. 3. приказана је расподела масених протока честица угљеног праха по прстима канала аеросмеше, а на дијаграму на сл. 4. расподела масених протока честица на левој, односно десној страни канала, за режиме 1 и 2. За случај положаја регулационих клапни С под углом од 60° , приближно по 15% од укупног масеног протока угљеног парка протиче кроз прсте 1–4 са десне стране док је расподела масених протока на левој страни у прстима 5–8 изразито неравномерна. Постављањем клапни С под углом од 30° , расподела масених протока по прстима канала аеросмеше је веома неравномерна, са приметним порастом укупног масеног протока честица ка десној страни канала за око 15%.



Слика 2. Профили брзина гасне фазе у излазном пресеку канала за режиме 1 и 2

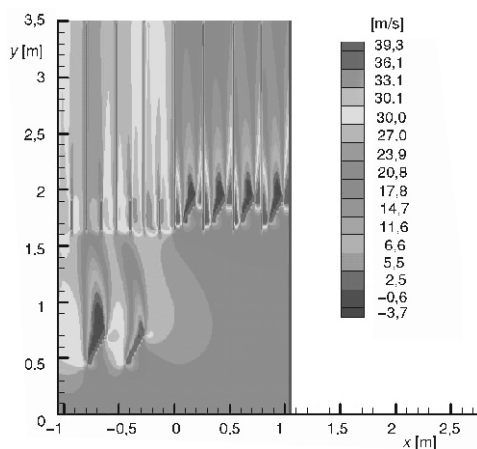


Слика 3. Расподела масених протока честица угљеног праха по прстима канала аеросмеше за режиме 1 и 2

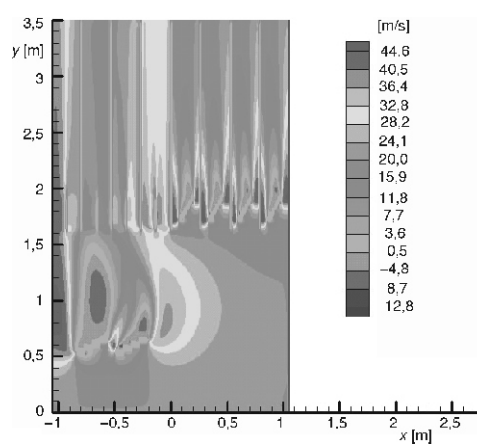


Слика 4. Расподела масених протока честица на левој/десној страни канала аеросмеше за режиме 1 и 2

На сл. 5. и 6. приказана су поља брзина гасовите фазе за режиме 3 и 4. Ова два режима приказују утицај промене угаоног положаја клапни С, при отвореном положају клапни А и благо притвореним клапнама В, постављеним под углом од 60° , односно благом пригушењу струјања у прстима канала аеросмеше који воде аеросмешу ка десној страни канала. Благим притварањем прстију канала 1–4, ствара се пригушење, смањен је проток гасне фазе у прстима на десној страни канала, делимично је преусмерена ка прстима 5–8 на левој страни. Као логична последица испречености клапни В струји гасовитих продуката сагоревања и ваздуха долази до смањења брзина гасне струје на десној страни канала, у односу на случајеве када су клапне В, биле у отвореном положају (режими 1 и 2).

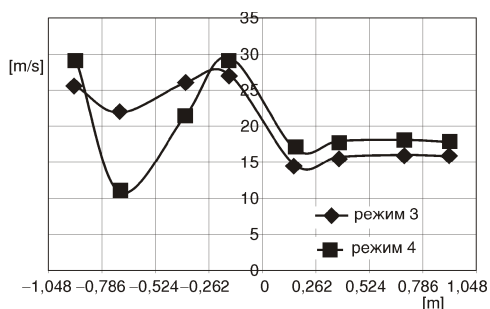


Слика 5. Поље брзина, режим број 3



Слика 6. Поље брзина, режим број 4

На дијаграму на сл. 7. приказани су профили брзина за режиме 3 и 4. За режим број 3 клапне С су биле постављене под углом од 60° , а за режим број 4 под углом од 30° . При овако позиционираним регулационим клапнама А и В, утицај клапни С, променом угаоног положаја, на брзине гасне фазе у прстима канала са десне стране

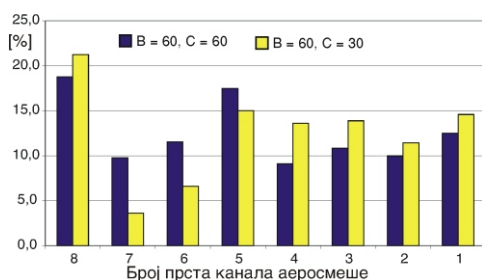


Слика 7. Профили брзина гасне фазе у излазном пресеку канала за режиме 3 и 4

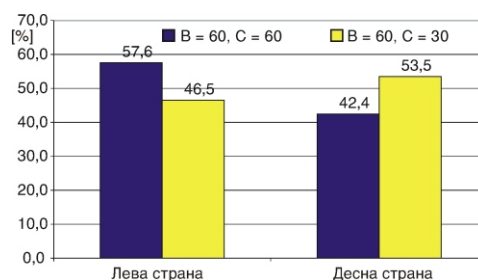
није толико значајан, за разлику од случаја када су клапне В биле у отвореном положају, режим 1 и 2. При положају клапни С од 60° брзине гасне фазе у делу канала са десне стране су око 15 m/s , што је пад за око 5 m/s у односу на улазни пресек, док у делу канала са леве стране долази до раста брзина на око 25 m/s . При положају клапни С од 30° , клапне су јако испречене струјању гаса на левој страни канала, стварајући пригушење (профил брзина је у облику левка) и узрокујући пад брзина струјања,

док на десној страни канала, долази до незнатног раста брзина за око 1–2 m/s, у односу на случај када су клапне С биле постављене под углом од 60°.

На дијаграму на сл. 8 приказана је расподела масених протока честица угљеног праха по прстима канала аеросмеше, а на дијаграму на сл. 9 расподела масених протока честица на левој, односно десној страни канала, за режиме 3 и 4. За случај положаја регулационих клапни С под углом од 60°, приближно по 9–12% од укупног масеног протока угљеног праха протиче кроз прсте 1–4 са десне стране, и расподела масених протока честица угљеног праха у овом делу канала је условно равномерна, док је расподела масених протока на левој страни у прстима 5–8 изразито неравномерна. Постављањем клапни С под углом од 30°, расподела масених протока по прстима са десне стране канала аеросмеше задржава условно равномеран карактер, уз пораст масених протока по прстима канала на око 12–14% од укупног масеног протока. Заокретањем клапни С из положаја када су биле постављене под углом од 60° у положај под углом од 30°, додатних приближно 11% од укупног масеног протока честица угљеног праха је преусмерено са леве на десну страну, сл. 9. Ово је мањи прираштај масеног протока услед заокретања клапни С, у односу на режиме 1 и 2, сл. 4.

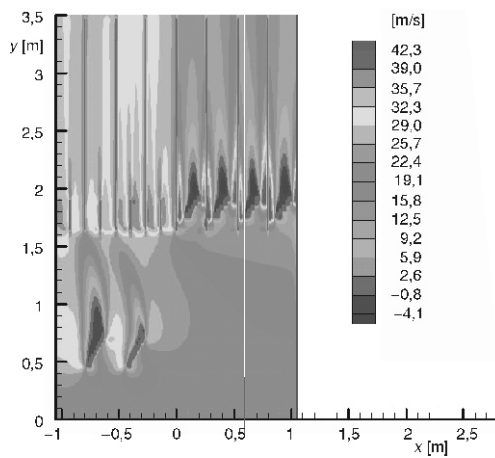


Слика 8. Расподела масених протока честица угљеног праха по прстима канала аеросмеше за режиме 3 и 4

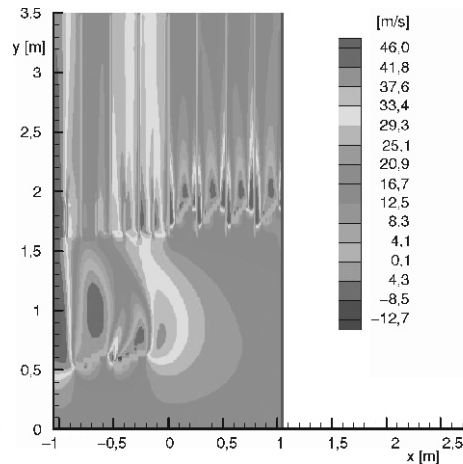


Слика 9. Расподела масених протока честица на левој/десној страни канала аеросмеше за режиме 3 и 4

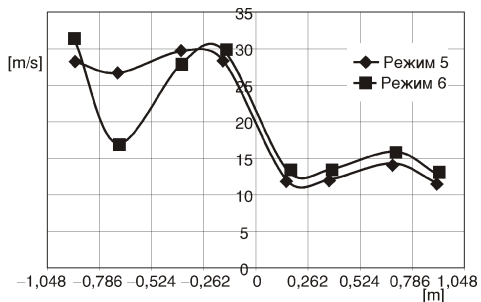
За режиме 5 и 6, на сл. 10. и 11. приказана су поља брзина гасовите фазе, на дијаграму на сл. 12. приказани су профили брзина, на дијаграму на сл. 13. приказана је расподела масених протока честица угљеног праха по прстима канала аеросмеше и на дијаграму на сл. 14. расподела масених протока честица на левој, односно десној страни канала. Режими 5 и 6 су слични режимима 3 и 4, и разликују се међусобно само по угаоном положају регулационих клапни В. Наиме, за случај режима 3 и 4 регулационе клапне биле су заокренуте и постављене под углом од 60°, чиме су благо смањивале проточни пресек прстију канала 1–4, док су за случај режима 5 и 6 исте регулационе клапне биле заокренуте и постављене под углом од 45°, вршећи веће смањење проточног пресека наведених прстију са десне стране канала. На основу



Слика 10. Поље брзина, режим број 5



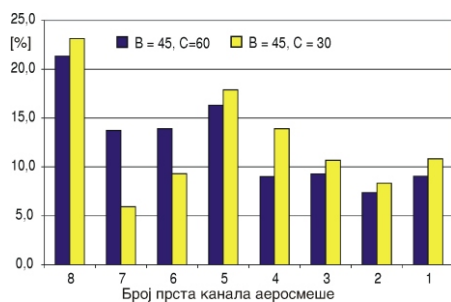
Слика 11. Поље брзина, режим број 6



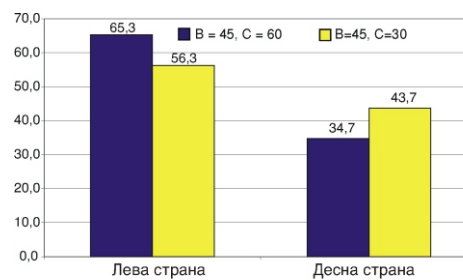
Слика 12. Профили брзина гасне фазе у излазном пресеку канала за режиме 5 и 6

изложеног, при опису добијених резултата нумеричком симулацијом за режиме 5 и 6, наведене су разлике ових двеју група режима. С обзиром на угаони положај клапни В, гасна фаза је интензивније усмерена ка левој страни канала, односно прстима 5–8. Овакав распоред регулационих клапни узроковао је већи пад брзина струјања гасне фазе у прстима десне стране канала у односу на брзине у улазном пресеку, него што је то био случај код режима 3 и 4, сл. 12. На сл. 12, се

јасно види да су брзине о којима је реч у границама од 10–15 m/s. Снижење брзина гасне фазе је позитиван моменат, пошто је циљ да се постигну што ниже брзине струјања у десном делу канала, и тиме продужи боравак аеросмеше (гасовитих продуката



Слика 13. Расподела масених протока честица угљеног праха по прстима канала аеросмеше за режиме 5 и 6



Слика 14. Расподела масених протока честица на левој/десној страни канала аеросмеше за режиме 5 и 6

сагоревања, ваздуха и честица угљеног праха) у плазма зони у циљу одговарајуће термохемијске припреме угљеног праха. Међутим, у овом случају, масени проток честица угљеног праха је мањи у прстима са десне стране у односу за случај режима 3 и 4, што представља негативну последицу. Ова појава је јасно уочљива паралелним увидом у дијаграме на сл. 13 и 8, и 14 и 9.

Закључак

Резултати у раду описују утицај две групе регулационих клапни, В и С, на брзинско поље гасне фазе и расподелу масених протока честица угљеног праха по прстима канала аеросмеше. Нумерички прорачуни наведених режима извршени су са униформним улазним профилем брзина гасне фазе и униформном расподелом честица угљеног праха, пошто је на тај начин најлакше установити утицај клапни В и С. На основу изнетих података добијених нумеричком симулацијом описаних режима могу се извести следећи закључци:

највећи утицај клапни С на расподелу масених протока по прстима канала аеросмеше је за случај када су клапне А и В постављене у отвореном положају, притварањем клапни В, утицај клапни С на расподелу масених протока је слабији, притварањем клапни В, долази до снижавања вредности брзина гасне фазе у прстима канала са десне стране, што представља позитивни моменат у циљу примене плазма технологије, описани систем са регулационим клапнама у каналу аеросмеше успешно може да се примени за регулацију дистрибуције честица угљеног праха, и извесна побољшања описаног реконструисаног система регулационих клапни су пожељна, у циљу његовог ефикаснијег рада.

Литература

- [1] Crowe, C. T., Sharma, M. P., Stock, D. E., The Particle-Source-in-Cell (PSI-CELL) Model for Gas-Droplet Flows, *J. Fluids Eng.*, 99 (1977), 1, 325–332
- [2] Lee, S. L., Durst, F., On the Motion of Particles in Turbulent Duct Flows, *Int. J. Multiphase Flow*, 8 (1982), 2, 125–146
- [3] Matsumoto, S., Saito, S., Monte Carlo Simulation of Horizontal Pneumatic Conveying Based on the Rough Wall Model, *J. Chem. Engng. Japan*, 3 (1970) 2, 223–230
- [4] Павловић, П., Стефановић, П., и др., Примена плазматрона за стабилизацију сагоревања на котлу блока 210 MW у ТЕ „Никола Тесла”, Идејно-техничко решење, НИВ-ИТЕ-155, Београд-Винча, 1999.
- [5] Sommerfeld, M., Živković, G., Recent Advances in the Numerical Simulation of Pneumatic Conveying through Pipe Systems, Computational Methods in Applied Science, *Proceedings, Invited Lectures and Special Technological Sessions of the First European Computational Fluid Dynamics Conference*, Brussels, 1992, 201–212
- [6] Стефановић, П., Павловић, П., Цветиновић, Д., Живковић, Н., Павловић, З., Марковић, З., Плазма системи за потпалу и подршку ватре код котлова ложених угљеним прахом – Преглед изведених индустријских постројења у свету, *Процесна техника*, 19 (2003) 1, 138–142

- [7] Živković, G., Mathematical Modelling of Two-Phase Gas-Particle Flow in Horizontal Tubes and Channels, Ph. D. thesis, Mechanical Engineering Faculty, University of Belgrade, 1996
- [8] Живковић, Г., Живковић, Н., Стефановић, П., Нумеричка симулација регулисања дистрибуције угљеног праха у систему одржавања пламена у котлу коришћењем нискотемпературске плазме, *Зборник на комјактн диску*, 11. симпозијум термичара Србије и Црне Горе, 1–4. октобар 2003, Златибор, Србија
- [9] Живковић, Н., Живковић, Г., Стефановић, П., Нумеричка симулација регулације дистрибуције угљеног праха у систему канала аеросмеше са клапнама на котлу блока 210 MW ТЕНТ – А, *Зборник на комјактн диску*, Симпозијум термичара Србије и Црне Горе Електране 2004, 2–5. новембар 2004, Врњачка Бања, Србија

Abstract

Influence of Regulational Shutters in the Mixture Channel on Coal Powder Distribution Presented by Numerical Simulation

by

Nikola ŽIVKOVIĆ, Predrag STEFANOVIĆ, and Dejan CVETINović

**Laboratory for Thermal Engineering and Energy,
Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, Serbia**

Regulation of distribution of coal powder particles in the mixture channel, that direct coal particles towards the plasma zone is one of the key problems during operational process of thermal power plant boilers. In order to adequately direct coal particles, the shutter system is positioned in the mixture channel prior to burner channels. Each of the groups have its own proposition and can be positioned in various angular positions. The obtained results presents influence each of the groups. The results represent distribution of coal powder fractions in the mixture channel on thermal power plant "Nikola Tesla" – A1, Obrenovac, Serbia. Particle size distribution in inlet cross-section was considered as uniform. The results are obtained by numerical simulation. Computational software for numerical simulation was of two-phase flow problems was Fortran code developed in the Laboratory for Thermal Engineering and Energy of the Vinča Institute of Nuclear Sciences. The input data in numerical calculations, such as velocity and concentration profiles in the inlet cross-section were uniform. Continual phase (gas) is treated by an Eulerian approach. Disperse phase (coal powder particles) was modeled by Lagrangeian approach. The model takes in consideration coupling of phases by PSI-CELL method. Turbulence was modeled with standard $k-\varepsilon$ model. The model treats particle as ideal sphere. In order to accurately determine particle movement, all relevant forces are incorporated in the model. The results include velocity field and profile of continual phase and mass flow distribution of coal powder particles at the outlet cross-section of mixture channel.

Key words: two-phase flow, thermal power plant, modeling, particles, turbulence

Одговорни аутор / Corresponding author (N. Živković)
E-mail: nikolaz@vin.bg.ac.yu