



ЗРГИМ
Здружение на
рударски и
геолошки инженери
на Р. Македонија

XIII^{TO} СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:

Технологија на подземна и површинска експлоатација на
минерални сировини

ПОДЕКС – ПОВЕКС '22

Охрид
14 – 16. 10. 2022 год.

РАБОТНИ УСЛОВИ ПРИ ПРОЦЕСОТ НА ПОДЗЕМНА ГАСИФИКАЦИЈА НА ЈАГЛЕН

Радмила Каранакова Стефановска¹, Зоран Панов¹, Ристо Поповски¹

¹Универзитет “Гоце Делчев”, Факултет за природни и технички науки,
Штип, Р. Северна Македонија

Апстракт: Истражувањата покажале дека условите за работа при процесот на подземна гасификација на јаглени кои имаат најголемо влијание врз стапката на растот на шуплината се температурата, приливот на вода, притисокот и составот гас во подземната гасификација на јаглен. Овде се презентирани, ефектите од условите за работа и јагленовите својства, поточно, јагленовата реактивност, работниот притисок, загубата на топлина, како и видот на оксидантот којшто се користи.

Клучни зборови: подземна гасификација, јаглен, технологија, работни услови, физички и хемиски процеси.

OPERATING CONDITIONS IN THE UNDERGROUND COAL GASIFICATION PROCESS

Radmila Karanakova Stefanovska¹, Zoran Panov¹, Risto Popovski¹

¹University “Goce Delcev”, Faculty of Natural and Technical Sciences, Stip,
R. of North Macedonia

Abstract: The investigation has found that the operating conditions that have the greatest impact on cavity growth rate are temperature, water influx, pressure, and gas composition in underground coal gasification. In this paper are presented the effect of operating conditions and coal properties, namely, coal reactivity, operating pressure, heat loss, and the type of oxidant used are investigated.

Keywords: underground gasification, coal, technology, operating conditions, physical and chemical process.

1. ВОВЕД

Самата Подземна гасификација е многу сложен физички и хемиски процес и многу фактори влијаат на составот и квалитетот на Сингасот. Со оглед на високата температура, влажноста и затворениот простор, тешко е ефикасно да се следи и контролира самиот процес се со цел негово подобрување. Во текот согорувањето на јаглен на самото место, во ист момент се одвиваат различни процеси на испарување (сушење), пиролиза и согорување и гасификација на пепел. Во процесот на подземна гасификација на јаглен, под влијание на

високи температури, се формира температурно поле во јагленовиот слој којшто треба да се гасифицира во масата на јаглен, при што ги прави слоевите на јаглен и карпи првично полни со стратификација, споевите и пукнатините ги омекнува, ги топи, цементира и ги зацврстува. Соодветно на тоа, внатрешната молекуларна структура е средена и е реорганизирана, што доведува до квалитативни промени на организационата структура и на морфолошкиот изглед. Оттука, очигледни се промени кои што се случуваат во физичко-механички својства на масата на јаглен.

Во процесот на подземна гасификација на јаглен, полето со висока температура е во самиот јагленовиот слој и е под висока температура, што го прави јагленовиот слој полн со слоеви и споеви и меѓупростори коишто се меки, растопени, лепливи и зацврстени.

Под влијание на високата температура, внатрешната молекуларна структура се реорганизира, при што целосно ја менува површината на јагленовата серија. Оттука, се случуваат драматични промени во физички и механички својства на телото на јагленот. Во овој труд се презентирани, ефектите од условите за работа и јагленовите својства, поточно, јагленовата реактивност, работниот притисок, загубата на топлина, како и видот на оксидантот којшто се користи

2. ДЕБЕЛИНА НА ЈАГЛЕНОВА СЕРИЈА

2.1. Дебелина на јагленова серија

Повеќето од операциите на ПГЈ биле спроведени во главно во порозни услови за гасови, и тоа во наоѓалишта на кафеави јаглени и помлади формации на цврст јаглен. Општо земено, овие депозити се на поплитки длабочини, до 300 метри, и се релативно лесно запалливи. Силното набабрување на јагленот има тенденција да го блокира протокот на гас низ лежиштето на јаглен, со што се попречува текот на реакцијата. Гасификација на слоеви со дебелина од 1 m или повеќе ја подобрува економичноста. Наоѓалиштата коишто се потенки од 0,5 метри не се сметаат за погодни за ПГЈ.

Во процесот на ПГЈ, областа на горење не само што се лади преку размена на топлина, туку дел од топлината, исто така, се губи и во слојот на јаглен како и во околните карпи (подот, покривот), со што имаме негативно влијание врз стабилноста на процесот на подземна гасификација.

Се сугерира дека кога дебелината на јагленовиот слој е помала од 2 метри, процесот на ладење е со драматични промени и околните карпи значително влијаат на вредноста на топлината на гас којшто се добива од јагленот. Што се однесува до релативно тенките јагленови слоеви, со зголемување на брзината на инјектирање на воздух или инјектирање на воздух збогатен со кислород може да се подобри топлотната вредност на гасот.

Во поранешниот Советски Сојуз, во подземната станица за гасификација Lisichansk применет е воздух збогатен со кислород којшто се инјектира во слојот на јаглен каде што дебелината била помалку од 2 m. Кога дебелината на слоевите на јаглен се намалува или приливот на вода се зголемува, содржината на CO₂ во добиениот гас ќе се зголеми.

2.2 Ефект на јагленова реактивност

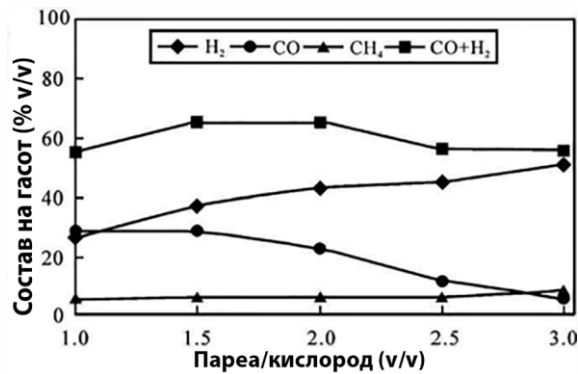
Хемиската реактивност на јагленот потенцијално е многу важна за процесот на ПГЈ. Забележаната вродена реактивност кај јаглени од низок ранг, се разликуваат до 4 степени на големина кога се екстраполираат при типични гасификациони работни температури. Вродената (природната) јагленова реактивност има големо влијание на дистрибуцијата во гасификаторот како и на крајниот производ. Особено високата реактивност резултира со производство на метан преку реакцијата кај пепелот со H_2 . Бидејќи оваа реакција е егзотермна, зголемувањето на реактивноста на оваа реакција може да доведе до големи промени во калориската вредност на крајниот производ.

2.3. Гасификациони агенси

Во литературата е присутна гасификација при различни атмосферски услови како што се воздухот, пареа, пареа - кислород и јаглерод диоксид. Во принцип, атмосферските услови во гасификаторот ја одредуваат калориска вредност на синтетичкиот гас кој го добиваме како производ. Кога се користи воздухот како агенс во гасификацијата се добива синтетички диоксид со ниска вредност на греење. Ова главно се должи на разредување на синтетичкиот гас од азотот кој што се содржи во воздухот. Но, доколку се користи пареа или комбинација на пареа и кислород, синтетичкиот диоксид е со средна вредност на топлинска енергија кај произведениот гас. Додавањето на пареа го менува балансот во јаглерод-кислород системот и имаме јаглерод-кислород-пареа систем во процесот на согорување. Кислород-пареа гасификацијата не само што го користи вишокот топлина за подобрување на енергетската ефикасност на процесот, туку исто така, го зголемува обемот на производството на гас по тон на јаглен и го намалува обемот на потрошувачка на кислород по тон на јаглен. Менување на односите помеѓу гасна композиција и количината на пареа-кислород се прикажани на слика 1.

Резултатите од експериментот покажале дека при користење на чист кислород во процесот на подземна гасификација на јаглен, водата во јагленовата серија како и водата којашто истекува од кровината може да се користи за производство на течен гас. Сепак, бидејќи водата при испарувањето троши топлина а и невозможно да се контролира количината на пареа често гасната композиција има широки флуктуации. Поради тоа е потребно да се прилагоди обемот на снабдување со кислород за да се задржи стабилност на постапката во процесот на гасификација.

Од слика 1 може да се забележи дека со порастот на количината на пареа-кислород, обемот на пареа се зголемува, содржината на H_2 на гас за јаглен се подобрува, содржината на CO се намалува и содржината на CH_4 малку се зголемува.



Слика 1. Варијации на гасната композиција со пареа-кислород (60)

Произведениот Синтетички гас (SYNGAS) во процесот на ПГЈ има ниска калорична вредност (од околу една осмина) доколку се инјектира воздух, а оваа вредност се удвојува доколку се инјектира кислород. Пареата збогатена со кислород во процесот на гасификација има извонреден ефект во составот на производот. Во тесна околина, при гасификација со чист кислород, просечната стапка на зголемувањето на температурата на гасифицираната јагленова серија е за 2,10 °C/h; додека пак во гасификацијата каде се користи пареа збогатена со кислород, високата температурата главно се концентрира околу гасификационата галерија, при што највисоката температура во оксидационата зона достигнува над 1200 °C.

Воздухот којшто се инјектира во гасификациониот канал е со мала брзина, пламенот има тенденција да се шири кон местото на инекција, но доколку се зголемува брзината на протокот на воздух, шуплината има тенденција да расте во спротивна насока. Исто така е познато дека ширење на пламенот е побрзо кога се користи кислород наместо на воздухот. Ова однесување е очекувано со оглед на тоа што горењето коешто е поддржувано од кислород е со поголема топлина и има повисока стапка на реакција.

Според Saulov et al. ги земал во предвид границата на високи температури, високата енергија на активација и силниот проток на воздух. При овие услови на површината на каналот има две зони, ладна и топла. Температурата не е доволно висока во ладната зона да иницира реакции, додека пак во топлата зона и кислородот на површината реагираат веднаш. Бидејќи енергијата на активација е висока, овие зони се многу малку одвоени. Вкупната количина на реакција е определена со стапката на дифузија на кислородот во топлата зона, додека концентрацијата на кислород кај динамичениот модел, во кој имаме раст на шуплината и загуба се проценети како функции зависни од времето.

2.4. Ефект на температура

Процесот на ПГЈ е практично една од самобалансирачка термичка реакција. Топлината произведена од согорувањето на јагленот придонесува за воспоставување на идеално температурно поле во подземните гасификатори, така што доведува до појава на гасификациони реакции и на крајот до производство на гас.

Температурата е клучен фактор во одредување на континуирано и стабилно производство во процесот на подземна гасификација на јаглен. Моделите на варијација на температурата во гасификаторите се тесно поврзани со видот на гасификациониот агенс, со начинот на гасификацијата и од промените во

празнината (шуплината). Во услови на гасификација со чист кислород, просечната стапка на зголемување на температурата во гасификаторот на јагленова серија при вжештени сидови во суштина е нула. Во такви услови на околу 4.15 °C/h; во фронталната гасификација со кислород-пареа, турбулентниот пламен е целосно контролиран од страна на дифузијата, а стапката на инјектирање нема контрола врз позицијата на пламенот. Согорувањето на јагленот започнува со реакции на деволатизација (испарување) при ниски температури и може да се лади со приливот на воздух. Ако овие реакции играат значајна улога во иницирањето на остатокот од процесот на оксидација или во енергетскиот биланс, позицијата на пламенот зависи од брзината на воздухот и истата е можно да се контролира.

Кога другите фактори се константни, зголемувањето на стапката на протокот и време на операција резултираат во монотонно зголемување во сите димензии на празнина и волумен. Меѓутоа, кога растојанието помеѓу дупчотините за вбригување и дупчотините за производство се зголемува, вкупниот обем на празнина се намалува, тоа се должи на значително намалување на степенот на раст на празнината во директна насока.

2.5. Ефект на притисок

Познато е дека притисокот има позитивно влијание на перформансите на гасификацијата на јаглен. При притисоци блиски до атмосферскиот притисок, калориската вредноста на произведениот гас е многу ниска, бидејќи постојат кинетички ограничувањата на реакциите на гасификацијата. Промените во работен притисок во голема мера може да го подобрат подземниот процес на гасификација. Под услов циклично да се менува притисокот, загубата на топлина очигледно да се намалува, ефикасноста на топлината, ефикасноста на гасификација и топлинската вредноста на произведениот гас значително да се зголемува. Со подземен гасификатор со долг канал и голем пресек може да се подобрат условите на согорување и гасификацијата во голема мера, значително подобрување на квалитетот на произведениот гас како и стабилност на производството на гас. Затоа, големите подземни гасификатори се во состојба да ги исполнат потребите на индустриското производство.

2.6. Ефектот на загубата на топлина

Топлинските загуби при подземната гасификација на јаглен не е лесно да се проценат. Ако празнината останува целосно во слојот на јаглен, загубите на топлина од (во) околните слоеви веројатно ќе биде мала и може да се игнорира. Сепак, како што празнината постепено станува изложена на откривката, неповратно ќе се зголеми загубата на топлина во околината. Не е лесно да се процени оваа загубата на топлина бидејќи откривката е подложна расцепување. Дел од енергијата што се користи за да се загрее празнината до потребната температура може да се надомести со претходно загревање на гасот којшто се инјектира. Механизмите за загубата на топлина веројатно може полесно да се истражуваат со помош на еднофазна област со висока температура која главно треба се концентрира околу олабавените зони кај кои доаѓа до термални експлозии и каде што температурата е највисока т.е. зоната на оксидација достигнува до 1300°C. Во споредба со фронталната гасификација, просечната температура во гасификаторот за обратна

гасификација е помал. Падот на температурата резултира со намалување на CO содржината, додека H₂, CH₂ и содржината на CO₂ се зголемуваат.

Кај методот на гасификација со топлинска експлозија, под услови на гасификација со чист кислород, просечната стапка на зголемувањето на температурата на гасифицираната јагленова серија е околу 4.15 °C/h; во фазата со фронтална гасификација со кислород-пареа, температурното поле главно се концентрира околу олабавените зони кои произлегуваат од термалните експлозии, при што е највисоката температура во зоната на оксидација може да достигне и до 1300 °C. Податоците од тестирањата покажуваат дека со фронталната гасификација кислород-пареа со подвижни точки значително може да ги подобрат условите за температурата во гасификаторот. Во случајот на обратната (назад) гасификација со кислород-пареа, со текот на времето, температурата на рабовите на гасификација на јагленот во континуитет се зголемува, напредува стабилно, малку по малку и е во основа иста со онаа како кај фронталната гасификација. Затоа, кај обратната (назад) гасификација може да се формираат нови температурни услови како и подобрување на ефикасноста на гасификација на јагленовите слоеви.

Во процесот на гасификација на јаглен, промените на температурата во слојот на јаглен главно се должат на медиумот за пренос на топлината од огнот на местото на горење, кое што во суштина претставува извор на топлина.

Во процесот на подземна гасификација на јаглен, температурата на јагленова серија околу каналот за гасификација се зголемува заедно со испорачаната топлина. Кога површината на јагленот се загрева со топол гас или од соседните вжештени јаглени, температурната дистрибуција се проширува кон раздробениот јаглен, односно во внатрешноста на споевите на јаглен, што неизбежно резултира со термички ефекти на апсорпција, десорпција и продирање на движење кон сува дестилација на гасот којшто е складиран во слојот од јаглен. Студијата на King и Ertekin [3] покажува дека во неизотермични услови, процесот на апсорпција, десорпција и процесот на навлегување или експанзија е поврзано со температурата.

Според теоријата на гасификацијата, температурата над 1000°C укажува на голема брзина и дифузија на реакцијата на распаѓање на вода, сочинувајќи го основните процес за производство на богат водороден гас во текот на фазата на ПГЈ со пареа. Од друга страна, падот на температура под 700°C значително ја забавува брзината на реакцијата.

Поради овие причини, посебно внимание беше посветено на одржување на параметрите за подобро производство на гас со висока содржина на запаливи компоненти, воглавно водород. Затоа фазата на кислород се продолжува за да се постигнат температури во опсег помеѓу 1100 °C и 1200 °C. Според резултатите од пресметковната симулација, со зголемување на должината на каналот за гасификација, вредноста на загревање на гасот се подобрува. Сепак, зад редуccionатата зона, зголемувањето е со помала разлика. Влијанието на полето на температурната на вредност на загревање на гасот е забележлива. Ова се должи на ефектот на температурата, со висока температурна зона, промената на измерената вредност од областа на концентрацијата за составот на гасот е поголема од онаа на пресметаната вредност.

Подземната гасификација на големо количество на јаглен на температури повисоки од 1000 °C обично се одразува на глиневата отквивката. Повеќето од термичките реакции во глиневите карпи се ендотермни.

2.7. Пораст на шуплините

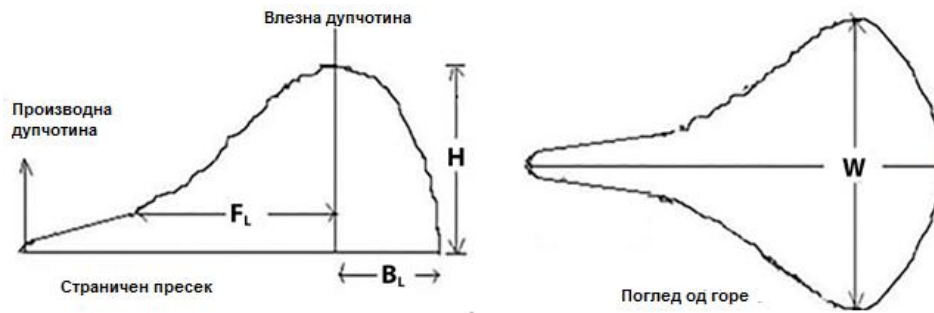
Како што напредува процесот на гасификација на јагленот којшто се наоѓа во наоѓалиштето, добиваме пепел, шут и празен простор. Големината на формираната празнина за време на гасификацијата директно влијае на економските и еколошките фактори коишто се од суштинско значење за успехот на процесот. На развојот на шуплината влијае разликата на условите кои владеат во гасификаторот:

- Распределба и прераспределба на гасификаторските агенси и гасификаторот за време на процесот на гасификација;
- Степен на преземање на страните на гасификаторот во зависност од топлинско-масна измена;
- Однесувањето на кровината и стабилноста на карпите;
- Хемиско-кинетички процеси на гасификација и
- Контрола на геометријата на гасификацијата.

Од наведените фактори кои се влијателни на развојот на гасификаторот научниците процениле дека приматно значење има распределбата на токот на гасификациските агенси. На пропустливоста влијаат:

- Природни физички обележја како што се порозност, шкрилавост, заситеност со вода, јаглерод диоксид и метан;
- Термичка промена со сушење, пиролиза и топење и
- Распределба на напрегањето вклучувајќи ги литостатските, термичките, структуралните (како последица на создавање на празен простор) и притисоците на флуидот.

Тежината на влијанието на некој фактор се менува во зависност од обележјето на гасификаторот. Страничните димензии влијаат на страничното искористување на ресурсите, на одредување на растојанието помеѓу модулите и конечно на димензиите на шуплината кои ја определуваат хидролошката состојба и слегнувањето на кровината. Точната форма и големина на каналот за гасификација во ПГЈ е од витално значење за безбедноста и стабилноста на горните делови од геолошка формација. Поради тоа што висината на празнината расте, таа ќе достигне до спојот помеѓу слојот на јаглен и покривката. Од тој момент па натаму растот на празнината може да биде под силно влијание од страна на интеракцијата на смесата на гас со прекумерна тежина. Вообичаено на почетокот на процесот на ПГЈ, потребна е егзотермна реакција на согорување на јагленот сè со цел да се создаде доволно голема подземна празнина. Во оваа рана фаза, растењето на шуплина не е ограничено од интеракцијата со покривката. Откако ќе се постигне поле на стабилна температура, се внесува пареа во шуплината за гасификација на јаглен со цел да се добие производ од запалив гас. Обликот и степенот на раст на празнината во голема мера ќе влијаат на други важни феномени, на пример на шемите на проток на гас, кинетиката, температурните профили, итн. Големината на празнината во било кое дадено време зависи од степенот на потрошувачка на јаглен и неговата форма, а не зависи од идеалните шемии на проток во внатрешноста на празнината.



Слика 2. Шематски дијаграм каде што се дефинирани: должината напред, должината наназад, висината и ширината на конечниот профил на шуплината

Обликот на празнината е речиси симетричен околу инјекционата дупчотина. Развојот на празнината зад местото на инјектирање (т.е. должина наназад) е помала од височината (во вертикална насока) и ширината на местото на инјектирање (во попречен правец). Должината напред на празнината (односно оддалеченост од инјектирање до крајната точка на куполата на празнината во директна насока) е поголема од висината и должината наназад. Конвективниот прилив на реактант гасот во директна насока (т.е. кон производствената дупчотина) придонесува за дополнителен раст на празнината во оваа насока.

Посматраната финална шуплина која е поврзана со долг одводен канал е речиси со полукружен облик. На Сл. 2 е шематски е прикажан конечниот облик на празнината (на шуплината) и имаме приказ од вертикалната перспектива, напред, наназад како и во попречни насоки.

Температурата на покривот на празнината е во опсег од $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температурата на подот се движи меѓу $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $700\text{ }^{\circ}\text{C}$. Обемот на зголемување на празнината е постепен и зависи од потрошувачката на јаглен и од термомеханичките појави (доколку ги има). Бидејќи растот на шуплината е неправилен во сите три димензии, моделот на протокот во внатрешноста на празнина е неидеален. Комплексноста се зголемува уште повеќе, бидејќи и други процеси се случуваат во исто време, како што е пренос на топлината поради конвекција и зрачење, одбивање, навлегување на вода од околните извори, неколку хемиски реакции и други геолошки аспекти. Развиени се неколку математички модели кои ги земаат во предвид шуплината во којашто се одвива ПГЈ, видот на наоѓалиштето и големината на каналот. Повеќето од веќе постоечките модели, шуплината ја гледаат правоаголен или цилиндричен канал.

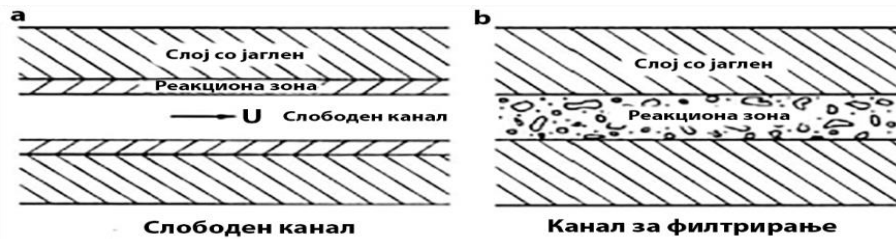
Според Perkins и Sahajwalla [2] се предвидува стапка на раст на празнина помеѓу $1,6$ и 5 cm/h , користејќи го нивниот математички модел кој ја поврзува линеарната стапка на раст на празнина со реактивноста и способноста за голем транспорт на гас. Мерејќи ја линеарно ја пресметал вертикалната стапка на раст од $1,1\text{ cm/h}$ (добиена со користење на измерените височини во празнината во различни времиња, а останатите услови остануваат исти).

Волуменот на празнина е директно пропорционален на потрошувачката на јаглен, а формата зависи од релативните стапки на раст кои се случуваат во секоја од четирите идентификувани насоки. Додека потрошувачката на јаглен се регулира со степенот или брзината на реакцијата која се одвива во реакторот, растот на секоја поединечна насока е зависен од полето на

комплексниот проток на реактивниот гас во внатрешноста на празнина и други ефекти како што се термомеханички појави на јагленот.

Chen et al.[4] развил модел за пресметување на температурната дистрибуција во вертикална насока и на обемот на согорување.

Според физичките и хемиските својства на јагленот и рудничко - геолошките условите на подземните слоеви на јаглен во панелот за гасификација може да се формираат два вида на гасификациони канали; имено, слободен канал без цврста фаза и изработка на порозен лабав канал за филтрирање. Во надолжна (или радијална) насока, слободниот канал може да се подели во три зони (сл. 3), односно зона на слободен проток, зона на реакција и зоната во рабовите на јагленот.



Слика 3. Гасификациони канали во јагленово наоѓалиште

При континуираната размена на топлина помеѓу сидовите и каналот, составот на гасот е различен односно при самото производство се одземаат или се произведуваат одредени композиции. Истовремено, се појавува хомогена реакција во составот на гасот. Во зоната на реакција, се одвива оксидација, намалена реакција и реакција на пиролиза на јаглен. Преносот на топлина во составот на гасот, потрошувачката и производството на композиции може да се сметаат како гранични услови за производство на гас. Во зоната на јагленова серија, дел од топлината во зоната на реакција имаме загуби во рабовите на јагленовата серија, најчесто во форма на спроведување на топлина, при што имаме сува дестилација на рабовите на јагленовата серија. Поради тоа, можеме да ги набљудуваме карактеристиките на движење на гасниот продукт и да се воспостави контрола на процесот во слободниот канал за гасификација. Растот на празнина директно влијае на искористување на јагленовите ресурси и на енергетската ефикасност, а со тоа и на економската оправданост. Од растот празнина, исто така се зависни и други потенцијални размислувања за дизајнирање, вклучувајќи избегнување на слегнување на површината и на загадувањето на подземните води.

Правењето на парови на дупчотини (дупчотина за вбризување и дупчотина за производство на гас) е скапо, па поради тоа е пожелно за гасификацијата да се применува максимален волумен на јаглен помеѓу паровите на дупчотини. При процесот на гасификација, се формира празнина која ќе расте по висина и ширина се додека не дојде до колабирање на кровината. Колабирањето на кровината е важно бидејќи допринесува за страничен раст на гасификаторот. На местата каде што кровината е јака и не се руши, или каде што имаме издробена почва која што блокира и е слабо консолидирана, дел од течностите реагенти ќе направат заобиколување на јагленот и ефикасноста на реакторот може брзо да се намали. Во принцип, со зголемување на длабочината, би требало условите да се сè повеќе и повеќе поволни за развој на гасификаторот, со помал ризик да се случуваат проблеми со заобиколување на јагленот, освен можеби во услови на многу силна кровина.

2.8. Гасна дифузија

Во процесот на согорување и гасификација на рабовите на јагленот во гасификаторот, главните реакции се во повеќе фази (мулти-фазни). Во секоја фаза на реакциите на мулти-фазата, реактантот во гасовита состојба со метод на дифузија се шири на површината на каде што имаме реакција во цврста состојба. Воглавно имаме два вида на гасна дифузија: молекуларна дифузија и дифузија на струење на воздух (вртложна). Процесот на согорување на рабовите на јагленот зависи од карактеристиките на гасната дифузија и динамички карактеристики на хемиските реакции. Покрај тоа, земајќи ги во предвид условите за движење на флуидите, можеме да заклучиме дека конвектното движењето на флуидите (од потопла (поретка) состојба кон поладна (погуста) состојба) кај гасната дифузија, е значаен фактор кој влијае на процесот на подземната гасификација. Во услови на високи температури, молекуларната дифузија е зависна од степенот на концентрација, големината на температурата и од големината на притисокот.

При проучување на основните карактеристики на конвектната дифузија за гасот којшто е произведен при подземна гасификација на јаглен, врз основа на експерименталниот модел, преку анализа и дистрибуција на моделите на варијација во областа на концентрација на флуидите во процесот на согорување и гасификација на јагленова серија во рамките на гасификаторот, Lanhe креирал 3-D не-линеарни нестабилни математички модели на конвектна дифузија на гасот за кислород. Истата студија заклучува дека концентрацијата на кислород е во директен сооднос со неговата оддалеченост од работниот фронт на пламен, односно колку е подолго растојанието, толку е поголема концентрацијата на кислород и обратно.

Во близина на зоната на согорување, при многу висока температура, кислородот во реакција со јаглерод е речиси потрошен; во ослабената зона, концентрација на кислород многу опаѓа така што речиси се приближува до нула; во излезната зона, благодарение на релативно ниските температури, падот на концентрацијата на кислород е забавена.

Во време на гасификационите процеси, на околните карпи кои дејствуваат како ѕидови на печката се под влијание на висока температура, со зголемување на температурите се менуваат и нивните механички својства. Истовремено, имаме стрес и поместување на карпите што исто така се должи на високата температура. Нестабилноста на гасификаторот ќе резултира со прекин на пареата, и нецелосен контакт помеѓу гасификациониот агенс и јагленот. Може да постојат два механизми што ќе влијаат на транспортот на гас низ порозниот слој над изворот на гас, односно, дифузија и навлегување. Движечка сила на дифузијата е степенот на составот на гас (изразена преку фракциите на гасната компонента); движечка сила за навлегување е вкупниот степен на притисок.

Се покажа дека зголемувањето на притисокот влијае повеќе на брзината на движење на гасот во однос на значителното зголемување на температурата која е речиси незначителна. Сепак, за сите тестирани услови се појавува CO_2 на растојание од неколку стотици метри по само неколку години. Директна пропорционалност на коефициентот на ефективна пропустливост на ефективен квадрат значи дека радиусот на порите е потврден.

2.9. Брзината на фронталното согорување

При гасификација на компактни наоѓалишта, фронтот на горење се движи споро и паралелно со наоѓалиштето и на протокот на гасови. Жешките гасови од процесот на согорување секогаш имаат директен контакт со недогорениот јаглен што е пред зона на согорување и тоа сè додека не дојдат до производствената дупчотина. Во каналот за гасификација, зоната на согорување се движи кон надворешноста под речиси прав агол во однос на протокот на воздух и гасовите од согорувањето. Во текот на процесот се формира термален бран кој постепено патува низ наоѓалиштето на јаглен кон дупчотината за производство на гас. Обликот на топлинскиот бран има тенденција многу малку да се менува. Со оглед на тоа што обликот на бранот останува непроменет, процесите кои се случуваат во секое температурно ниво во движењето топлинскиот бран остануваат непроменети со текот на времето, и се појавува и преовладува стабилна состојба или псевдостабилна состојба. Под овие услови во еден димензионален систем, е можно да се трансформира на математичкиот модел во движење во координатен систем кој ги претвора парцијалните диференцијали во обични диференцијални равенки, што е големо поедноставување на проблемот. Оваа трансформација е [78]:

$$n = x - vt$$

каде што:

x = фиксен координатен простор,

t = време,

v = брзина на топлинскиот бран или фронтот на согорување,

n = координатен систем кој што се движи со фронтална брзина v .

Кога физичките својства на јагленот имаат тенденција да се разликуваат во голема мера на кратки растојанија, дури и за само еден јагленов слој, изработката на задача на моделирање за ПГЈ процесот е многу сложена. Гасификација на типичен 9 m слој на суббитуменозен јаглен изнесува 0.3-0.6 m/ден и го троши целиот јаглен во ширина од 12 до 15 метри и во растојание од околу 18 метри. Прецизните пропорции на различните компоненти на гасови во синтетичкиот гас се зависни од квалитетот и рангот на јагленот, длабочина на слојот, соодносот на пареата-кислород, од количината на инјектираниот кислород како и од други параметри. При постојан сооднос на пареа-кислород композициите остануваат стабилни.

3. ЗАКЛУЧОК

Подземна гасификација не може да се контролира во иста мера како процесот на површинска гасификација бидејќи не е возможно да се контролира количината на јаглен којашто се обработува. Процесот на ПГЈ може да се управува со стабилност и флексибилност, како што кажавме, влезниот проток има директна врска со производниот проток, со мал ефект врз квалитетот на произведениот гас. Излезната моќност од гасификаторот може да се брзо зголемува или да се намалува со зголемување или намалување на количината на проток на O_2 .

Иако зголемената длабочина и притисок не е предуслов за висок квалитет на гас, подобро е да имаме поголема маса на проток, а со тоа поголема ефикасност на пренос на енергијата на површината. Производството на

енергија од систем за ПГЈ зависи од брзината на проток на гасните производи и топлинската вредноста на гасна смеса. Обемот на проток на гасниот производ обично е четири пати поголем во однос на инјектираниот гас, и овде единствен лимитирачки фактор е динамичниот отпор на производната дупчотина. Волуменот на одлив во производната дупчотина е пропорционален на притисокот на внесување на гас. Зголемување на длабочината ја зголемува густината на произведениот гас како и неговиот притисок. Добиената количина на прилив се должи на зголемување на притисокот која што треба да ги надмине загубите кои што настануваат при триење како резултат на зголемената должина на дупчотината. Зголемување на дијаметарот на производната цевка, исто така го зголемува степенот на ограничување на протокот. Зголемување на дијаметарот може но не мора да биде можно да се постигнат потребните температури за ПГЈ, пред се поради недостатокот на контрола на приливот на вода и реактантите.

Направени се теренски проби со различни оперативни маневри, како што е спроведување на контролирано движење на инјекционите точки, операции и варијации збогатени со O_2 на работен притисок за да се обезбеди релативна контрола на протокот на гас, а со тоа подобрување на ефикасноста на топлинска енергија и квалитетот на произведениот синтетички диоксид (SYNGAS).

Би било подобро да симулираме модел од неколку гасификациони процеси во вистинска големина, така што целиот процес би можел да се моделира одеднаш, наместо секвенцијално.

КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Courtney, R., 2009. *Underground Coal Gasification*. UCG Workshop, Pittsburgh Coal Conference. Pittsburgh, PA.
- [2] Perkins G, Sahajwalla V. A mathematical model for the chemical reaction of a semi-infinite block of coal in underground coal gasification. *Energy & Fuels* 2005;19(4)
- [3] King GR, Ertekin TM. Review of methane-related mathematical models (part one): experiment and the model on balanced absorption. *Coal Layer Gas* 2000;25:13.
- [4] Chen L, Hou C, Chen J, Xu J. A back analysis of the temperature field in the combustion volume space during underground coal gasification. *Mining Science and Technology (China)* 2011;21(4):581e5.
- [5] Bhutto AW, Bazmi AA and Zahedi G (2013) Underground coal gasification: from fundamentals to applications. *Progress in Energy and Combustion Science* 39(1): 189–214, <http://dx.doi.org/10.1016/j.pecs.2012.09.004>.
- [6] Blindermann MS, Saulovb DN and Klimenko AY (2008) Forward and reverse combustion linking in underground coal gasification. *Energy* 33(1): 446–454, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2007.10.004>.
- [7] Boysen JE, Covell JR and Sullivan S (1990) Rocky Mountain 1 Underground Coal Gasification Test, Hanna, WY – Results from Venting, Flushing, and Cooling of the Rocky Mountain 1 UCG Cavities. Gas Research Institute, Chicago, IL, USA, GRI Publication No. 90/0156