

(19)



(10) **LT IP1115 A**

(12) **PARAIŠKOS APRAŠYMAS**

- (21) Paraiškos numeris: **IP1115** (51) Int. Cl. (2006): **F23C 10/00**  
**B01B 1/00**
- (22) Paraiškos padavimo data: **1993 09 24** **B01J 8/18**  
**B01J 8/24**
- (41) Paraiškos paskelbimo data: **1995 04 25** **C01B 3/00**  
**C02F 11/00**
- (62) Paraiškos, iš kurios dokumentas išskirtas, numeris: — **C02F 11/10**  
**C10G 35/00**
- (86) Tarptautinės paraiškos numeris: — **C10J 3/02**  
**C10J 3/46**
- (86) Tarptautinės paraiškos padavimo data: — **D21C 11/12**  
**F23C 15/00**
- (85) Nacionalinio PCT lygio procedūros pradžios data: — **F23G 7/04**
- (30) Prioritetas: **310202, 1989 02 14, US**  
**4743181, 1990 02 13, SU**
- (71) Pareiškėjas:  
**Manufacturing and Technology Conversion International, Inc., 5570 Sterret  
Place, Suite 206, Columbia, Maryland 21045, US**
- (72) Išradėjas:  
**Momtaz Nosshi MANSOUR, US**  
**Kanda Swamy DURAI-SWAMY, US**  
**David Walter WARREN, US**
- (74) Patentinis patikėtinis/atstovas:  
**Marius JAKULIS - JASON, AAA Baltic Service Company, J.Jasinskio g. 16A,  
LT-01112 Vilnius, LT**

- (54) Pavadinimas:  
**Endoterminių reakcijų atlikimo būdas ir įrenginys joms atlikti**
- (57) Referatas:  
—

**LT IP1115 A**

C 10 J 3/00

## Endoterminių reakcijų atlikimo būdas ir įrenginys

### endoterminių reakcijų atlikimui

Šis išradimas skirtas termocheminiams reaktoriams su netiesioginiu kaitinimu ir termocheminių reakcijų atlikimo būdui, tame tarpe, dujofikacijai, sunkiųjų tepalų ir toksiškų organinių medžiagų valymui garais, šarmų ir energijos regeneracijai, atnaujinamų resursų, tokių kaip biomasės ir atidirbtų srautų, turinčių energijos, konversijai.

Termocheminių reakcijų atlikimo būdai apima platų reakcijų, kuriuose pradinės medžiagos yra tiesiogiai arba netiesiogiai kaitinamos, kad įvyktų reikalinga endoterminė reakcija, spektrą.

Tiesioginio kaitinimo reaktoriuose egzoterminės reakcijos, vykstančios vietoje, užtikrina šilumą reakcijoms, kurioms reikalingi endoterminiai procesai. Tokie netiesioginio kaitinimo sistemos pavyzdžiai yra dalinės oksidacijos dujų generatoriai ir autoterminis dujų generatorius. Nors tokios sistemos gali būti panaudojamos dujofikacijai, pvz., medžiagos, kurių sudėtyje yra anglis, taip pat ir biomasė,

tačiau susidariusios šios dujos yra žemos kokybės dėl esančių skiediklių, t.y. egzoterminės reakcijos produktų.

Aukštesnės kokybės produktai gali būti gaunami, panaudojant reaktorių su netiesioginiu kaitinimu. Pavyzdžiui, buvo panaudojama keletas biomasės dujųfikacijos būdų su netiesioginiu kaitinimu. Pagal vieną būdą panaudojama tradicinė pakura su dūminiais vamzdžiais, kurie įeina į reaktorių su virinamu sluoksniu. ( Flaning ir kt., Termocheminės biomasės konversijos 15 - ojo rangovų pasitarimo medžiaga, Atlanta, Georgia, p. 14-30 ( 1983). Pagal kitą būdą panaudojamas kaitinimas su medžio anglimi pagalbine pakura su virinamu sluoksniu, kai atskirame sluoksnyje kaitinamas smėlis. Karštas smėlis po to panaudojamas kaip pirminiam su virinamu sluoksniu reaktoriui šilumą atiduodanti terpė. Feldman ir kt.,

Termocheminės biomasės konversijos 15- ojo rangovų pasitarimo medžiaga, Atlanta, Georgia, p. 31 - 90 (1983).

Pagal pirmą būdą didelės apimties pakura ir šilumos mainų posistema labai brangiai kainuoja, palyginus su reaktoriu su netiesioginiu kaitinimu. Pagrindinis tradicinių dūminių reaktorių su netiesioginiu kaitinimu trūkumas yra aukšta kaina, pagrįsta didelės apimties šilumokaičiais, panaudojant brangiai kainuojančias aukštoms temperatūroms atsparias medžiagas. Be to, didelis vamzdžių kiekis, reikalingas šilumokaičių įrengimui, gali trukdyti sluoksnio suskystinimui reaktoriuje. Todėl žemas šilumos išsiskyrimo greitis pakuroje ir žemas šilumos perdavimo intensyvumas dūminiuose vamzdžiuose apriboja reaktoriaus

eksploatavimo savybes ir ekonomiškumą.

Pagal antrą būdą medžio anglies sudeginimą, kurio metu išsiskiria šiluma, sunku užtikrinti be didelių laiko sąnaudų ir didelio oro kiekio, o tai reikalauja didesnės (negu dujų generatorius) pakuros ir mažina sistemos efektyvumą. Be to, rimtas sistemos trūkumas yra karšto smėlio recirkuliacijos įrenginio išmatavimai ir sudėtingumas, o taip pat papildomos verdančio sluoksnio deginimo išlaidos. Sunkių skystų angliavandenilių valymas garais pagal žinomo metodo kitą pavyzdį, apima eilę metodų su nejudinamu sluoksniu ir verdančiu sluoksniu, kuriuos atliekant iškyla eilė rimtų problemų.

Dauguma valymo garais įrenginių sunkių skystų angliavandenilių apdirbimui, siekiant gauti dujas prisotintas vandeniliu, yra autoterminiai ir veikia esant aukštomis temperatūroms. Tačiau tokiu atveju blogėja dujų kokybė, nes išsiskiria skiedikliai (gautų dujų degimo produktas), ypač jei per sistemą pučiamas oras. Todėl čia būtų verta paminėti du valymo garais įrenginius su netiesioginiu kaitinimu: vienas panaudojamas pilno angliavandenilių valymo (PAV) procese (Tomita, "Apdirbimas aukštose temperatūrose", simpoziumas, organizuotas KTI kompanijos, Santa Barbara, JAV (1979); Tomita ir kt., Europos šalių pasitarimas cheminės technologijos klausimais, 18-asis chemikų kongresas ir paroda, Frankfurtas, Vokietija (1976); kitas panaudojamas katalitinio valymo garais su verdančiu sluoksniu procese (toliau vadinamas "prancūzišku metodu"), Biuletenis "Societe de la Grande Paroisse," (1973). Pilno angliavandenilių valymo metu vandenilis gaunamas, vykdamas reakciją garais su sunkiais skystais

98

4

angliavandeniliais vamzdeliniame reaktoriuje su nejudamu sluoksniu. Tas procesas yra katalitinis ir, kaip sakoma, tai leidžia panaudoti daugelį pradinių žaliavų, jų tarpe, naftą ir ligroiną ( lengva naftos frakcija ) be išankstinio jų apdorojimo. Procese panaudojamas katalizatorius, veikiantis panaudojant sierą. Pirminis katalizatorius, vadinamas T- 12, yra nesilikatinis katalizatorius kalcio aliuminato pagrindu. Kadangi šio katalizatoriaus valymo garais procese aktyvumas yra žemesnis, negu įprastų nikolinių katalizatorių aktyvumas, tai reakcijai reikalinga temperatūra turi būti aukštesnė. Tokiu būdu, panaudojant sunkią pradinę žaliavą, tokią kaip Irano sunkioji nafta, įėjimo temperatūra yra apie 1652 °F (898 °C ), o išėjimo temperatūra yra apie 1832 °F ( 1000 °C ), todėl iškyla rimtos problemos, perduodant šilumą, ir su vamzdžiams naudojama medžiaga. Pažymėtina, kad reikia paruošti sudėtingą naują padavimo sistemą sunkaus kuro reguliavimui garais ir intensyviai maišymui, kad išvengtų prie valymo įrenginio vamzdžių įėjimo krėkingo ir suodžių susidarymo. Kadangi neturintis nikelio T - 12 katalizatorius nėra pakankamai aktyvus, kad paverstų visus angliavandenilius į dujų sintezę, todėl išeinančiose dujose būtina būti didelis kiekis metano, ypač naudojant sunkią pradinę žaliavą. Kad išspręstų šią problemą, siekiant suskaldyti angliavandenilius, nikelio neturintis katalizatorius ( T-48 ) naudojamas kalcio aliuminato nejudamo sluoksniu gale. Nikelio katalizatorius T - 48, esantis greta ir aukščiau prieš srovę nuo katalizatoriaus T -12, yra atsparus sierai, nes procesas vyksta aukštoje temperatūroje, paprastai, 897 °C ir esant pakankamai dideliems H<sub>2</sub> kiekiams. Vykstant nevalytos naftos

valymui garais, pilnas angliavandenilių valymo procesas yra brangesnis,

- negu įprastas ligroino valymas garais. Valymo specialistui aišku, kad sunkių angliavandenilių perdirbimas susijęs su neįprastomis problemomis, pagrįstomis tuo, kad sunkiuose angliavandeniliuose yra aromatinių dalių, kurios suodžių pavidalu nusėda ant substrato. Pilno angliavandenilių valymo procese pirminis katalizatorius išsidėstęs vamzdiniame reaktoriuje su nejudamu sluoksniu. Dėl susidariusių anglies nuosėdų ( suodžiai ) tokiuose vamzdiniuose reaktoriuose su nejudamu sluoksniu įvyksta tuščių katalizatoriaus vietų okliuzija. Nepajudinamo sluoksnio konstrukcijoje nuosėdų susidarymas ir okliuzija progresuoja, todėl vamzdiniuose reaktoriuose<sup>os</sup> įvyksta netikėti slėgio svyravimai ir sistema sustoja dirbusi. Todėl nuosėdų susidarymas reaktoriuje su nepajudina- mu sluoksniu yra negalimas, ir būtina išlaikyti proceso režimą, kad nesusidartų<sup>y</sup> nuosėdos arba bent būtų jų minimalus kiekis. Tai paprastai reikalauja aukštų garų ir anglies santykio reikšmių, kurios padidina anglies dujų oksidacijos greitį, palyginus su anglies nuosėdų susidarymo greičiu. Tačiau, aukštos garų ir ang- lies santykių reikšmės kenkia terminiam proceso efektyvumui.

Prancūziško proceso atveju, kuris išvystytas Societe de la Grande Paroisse, panaudojamas reaktorius su virinamu skysčiu. Šis reaktorius buvo tiriamas perdirbant sunkiąsias sierą turinčias žaliavas (pvz., mazutą) į vandenilį nenu- sierinant ir susidarant minimaliam nuodėgų kiekiui. Šiame procese vanduo ir angliavandeniliai paduodami į nikelį turinčio katalizatoriaus suskystintą sluoksnį,

kuris izotermiškai palaikomas  $800-921\text{ }^{\circ}\text{C}$  Suskystinto sluoksnio operacija leidžia dirbti prie žemų garo/anglies reikšmių. Tačiau sunkios žaliavos iššaukia kai kurį angliavandenilių sutrūkimą. Be to, nikelį turinčio katalizatoriaus buvimas suskystintame sluoksnyje nepageidaujamas dėl dviejų priežasčių. Pirmą priežastis yra ta, kad trintis sluoksnyje iššaukia nikelį turinčio katalizatoriaus praradimą. Antra priežastis yra per didelis suodžių susidarymas ir nikelio nuodijimas siera katalizatoriuje, kas vyksta perdirbant sunkius skysčius, kurie gali sudaryti suodžius ir kuriuose yra didelis sieros kiekis (mazutas Nr 4 ir 6).

Be to, kai kurių reaguojančių medžiagų reikalavimai reaktoriui, pačiai technologijai ir išskaičiavimo sistemai yra nevienodi. Šarmuose, kurie yra šalutiniai produktai celiuliozės perdirbimo procese, paprastai būna iš biomasės gauti ligninai ir neorganinis natrio ir kai kuriais atvejais, pvz., Kraft šarmų, sieros technologijos chemikalai. Proceso ekonomiškas reikalauja technologinės chemikalų regeneracijos ir energijos, esančios šarmuose, sunaudojimo. Pavyzdžiui, Kraft šarmų regeneracijos procese reikia numatyti, kaip išlaikyti ir/arba regeneruoti sierą Natrio sulfido pavidalu. Dabartiniu metu tai atliekama, panaudojant Tomlinson regeneracijos krosnį, kurioje šarmai deginami ir neorganiniai sulfatiniai chemikalai sumažėja, reaguojant su anglimi skystame išlydytame sluoksnyje krosnies dugne. Nors Tomlinson krosnis jau kelis dešimtmečius plačiai naudojama popieriaus gamyboje, gaminant Kraft maišus, bet taip pat turi trūkumų, pvz., grėsmę saugumui, nes gali įvykti sproginiai į lydinį patekus vandeniui, be to, vyksta korozija, o taip pat į orą išmetamos nepageidaujamos

medžiagos. Be to, Tomlinson krosnis - tai pagrindinis kapitalinis įdėjimas šiuolaikinėje gamyboje. Jei planuojama išplėsti gamybą, tai tokiu atveju yra mažai galimybių plėsti įmonės gamybinius pajėgumus, nes garo katilai regeneratoriai yra ekonomiškai tik tada, kai naudojami dideli galingumai. Dėl šių priežasčių popieriaus pramonėje buvo ieškoma naujų technologinių alternatyvų Tomlinson regeneraciniams katilams. Šarmų dujofikacija gali būti vykdoma autoterminiu būdu, tačiau dirbant šiuo metodu gaunamos dujos, mažai išskiriančios šilumos ir daugeliu atveju tokie autoterminiai dujų generatoriai gamina skystą lydinį. Dar svarbiau yra tai, kad Kraft chemikalai turi būti redukuota forma, todėl tiesioginis šarmų oksidavimas, pvz., procesuose, kuriuose vyksta nepilna oksidacija ir autoterminiuose procesuose, ypač nepageidautinas. Paruoštas šarmų autoterminės dujofikacijos metodas reaktoriuje su išlydyta druska. Kraft chemikalų redukcija anglimi, esančia išlydytoje druskoje, vyksta autoterminiame dujų reaktoriuje, tačiau šio metodo trūkumais pat, kaip ir Tomlinsono krosnies panaudojimo technologijoje, t. y. lydymo procesas, korozijos problemos, sprogoimo galimybė, dideli kapitaliniai įdėjimai ir mažas ekonominis efektas.

Todėl šarmų regeneracijos procese reikia išvengti būtinumo aptarnauti skystą lydinį, užtikrinti saugumą, aukštą terminį efektyvumą, mažas išlaidas ir taip pat reikia sukurti tokią modulinę konstrukcijos sistemą, kad būtų įmanomas tolimesnis gamybos plėtimas.

Įvairių sričių pritaikymui reikalingi ir nauji termocheminių procesų reaktoriai su netiesioginiu kaitinimu, taip pat įvairiems endoterminiams procesams reakcijų ir



kurie termiškai apdirbami. JAV patente 2,937,500 aprašomi pulsuojantys reaktyviniai varikliai, derinant su šilumos mainų įrenginiu, besiskiriančiu akustiškai padidintu šilumos perdavimo greičiu, kaitinant j variklį paduodamą orą. Šie patentai pateikti nuorodų aprašyme. Nei viename iš šių patentų bei aukščiau pateiktuose termocheminių procesų aprašymuose nenurodomas pulsuojančio degimo procesas reaktoriuose su suskystintu sluoksniu, panaudojant netiesioginį kaitinimą.

Šiame išradime išvengiama aukščiau nurodytų trūkumų todėl, kad šiandieniniuose reaktoriuose su netiesioginiu kaitinimu panaudojamas vienas arba ( tinkamiau ) keletas pulsuojančių pakuros rezonansinių vamzdžių, išeinančių iš vienos ir tos pačios degimo kameros, kaip sluoksniu šilumokaičio, kur pulsacijos greitis ir dujinių degimo produktų slėgis bei intensyvus garsinis laukas, kurį sukuria keletas rezonansinių vamzdžių, esančių reaktoriaus sluoksnyje, padidina šilumos išsiskyrimo greitį, šilumos ir masės perdavimo greitį ir taip pat reakcijos greitį sluoksnyje.

Šio išradimo tikslas - termocheminių reaktorių sukūrimas, kurie skiriasi aukštu terminiu efektyvumu, aukštu apdorojimo greičiu, žemomis kapitalinių įdėjimų ir eksploataavimo išlaidomis ir aukšta produkto kokybe, ir kurie skirti praktiniam panaudojimui, tame tarpe:

- šarmų dujojifikacijai;
- biomasės dujojifikacijai;
- sunkių skystų angliavandenilių katalitiniam valymui garų;

105

- netiesioginiam džiovinimui;
- akmens anglies negiliai dujofikacijai ( ribotos temperatūros pirolizė );
- akmens anglies ir durpių dujofikacijai;
- pramoninių ir buitinių atliekų termocheminiam perdirbimui, panaudojant netiesioginį kaitinimą;
- cheminių produktų terminiam krekingui;
- maisto pramonės produktų perdirbimo atliekų, turinčių savyje energijos, dujofikacijai;
- naudingų kuro formų iš degančių skalūnų ir naftingų bei akmeningo smėlio gavimui;
- atliekų nukenksminimui ir iš jų gaunamos energijos regeneravimui;
- endoterminių reakcijų panaudojimui cheminiuose procesuose, siekiant gauti reikiamas chemines medžiagas;

Kitas išradimo tikslas - termocheminio reaktoriaus su netiesioginiu kaitinimu sukūrimas, taip pat šilumos išskyrimo greičio padidinimo, šilumos ir masės perdavimo greičio padidinimo, reakcijos greičio ir reikalingų produktų našumo ir išmetamų į aplinką medžiagų nukenksminimo būdų gavimas.

Kitas išradimo tikslas - sukūrimas patobulintų termocheminių procesų, kurie panaudojami praktiniams tikslams, tame tarpe;

- šarmų regeneracijai;
- sunkių skystų angliavandenilių katalitiniam valymui garu;
- blogos kokybės akmens anglies negiliai katalitinei dujofikacijai garais;

- negiliai akmens anglies dujofikacijai;
- naudingų kuro rūšių iš naftingo skalūno ir naftingo bei akmeningo smėlio gavimui.

Kitas šio išradimo tikslas yra vidutinio kaloringumo dujų, duodančių nuo 350 iki 500 Btu/scf, skystų angliavandenilių iš alternatyvių energijos šaltinių, tokių kaip akmens anglis, degieji skalūnai, biomasė, buitinės kietos atliekos, energijos turinčios gamybinės atliekos ir atidirbti angliavandeniliai, generavimas, susidarant nedideliams kiekiams nepageidaujamų dervų ir sunkiųjų tepalų.

Taip pat išradimo tikslas yra šarmų dujofikacijos įrenginio ir metodo sukūrimas ir turimos energijos bei naudingų cheminių medžiagų regeneracija be skysto lydinio susidarymo.

Ir dar vienas šio išradimo tikslas yra šarmų regeneracijos modulinės sistemos ir šarmų regeneracijos proceso sukūrimas, kurie reikalingi tolimesniam gamybinių pajėgumų išplėtimui.

Kiti šio išradimo tikslai ir privalumai dalinai išdėstyti žemiau pateiktame aprašyme ir todėl dalinai atspindi išradimą arba tikslai ir privalumai gali išryškėti praktiškai įgyvendinant išradimą. Tikslai ir privalumai pasiekiami įrengimų ir kombinacijų, pateikiamų išradimo formulėje, pagalba. Siekiant įgyvendinti šio išradimo tikslus, siūlomas termocheminis reakcinis įrenginys su netiesioginiu kaitinimu, kuriame yra ir reaktoriai su suskystintu sluoksniu,

ir netiesioginiu pulsuojančios pakuros kaitinimu, su įrengta degimo kamera, aerodinaminiu vožtuvu ir vienu arba keliais, apribojančiais rezonanso zoną prailgintais vamzdžiais, turinčiais įėjimą į degimo kamerą iš vienos pusės ir išėjimą iš kitos pusės. Tie vamzdžiai toliau bus vadinami "rezonansiniais vamzdžiais". Reaktoriuje yra viena arba daugiau angų, per kurias paduodama medžiaga, ir reaktorių gali būti pakraunamas kietomis dalelėmis, kuriose yra tinkama medžiaga sluoksniui, galinti būti inertinė arba katalitinės prigimties, pagreitinanti reakciją sluoksnyje. Reaktoriuje su suskystintu sluoksniu prie dugno yra anga suskystintos terpės padavimui, kuria gali būti garas, dujos, išgarinti skysčiai arba jų kombinacijos. Reaktoriuje suskystintos terpės srautas paskirstymo sistemos pagalba paduodamas, iš principo, vienodai per visą skersinį sluoksnio piūvį, kad į visą suskystintą sluoksnį patektų vienodai. Ties kiekvieno rezonansinio vamzdžio išėjimo anga yra erdvė dujų, išeinančių iš rezonansinių vamzdžių, surinkimui. Kieta medžiaga, dujos ir garai toliau vadinami "reaktoriaus produktai", išleidžiami iš reaktoriaus per atskirą angą. Tada reaktoriaus produktai praleidžiami per tam tikrą separavimo priemonę, kuri gali būti, pvz., ciklonas arba kamera su rankiniu filtru arba bet kuri kita priemonė, tinkama kietų dalelių nuo reaktoriaus produkto atskyrimui.

Pagal šį išradimą įrenginio darbas susideda iš kuro ir deguonį turinčių dujų padavimo į degimo kamerą ir pirmos dalies kuro, kuris paduodamas į degimo kamerą, sudeginimo, bet tik pulsuojančio degimo sąlygomis, dėl ko susidaro karštų dujų srautas, kuriame yra likusi dalis, paduoto į degimo kamerą kuro, be to, pul-

suojantis degimas reguliuojamas taip, kad pulsacijos greičio dažnumas būtų apie 20 Hz ir dinaminis garsinis spaudimas būtų apie 165 decibelų. Tada karštų dujų srautas iš degimo kameros paduodamas per prailgintos rezonansinės zonos, kurią supa sienelė su įėjimo anga viename jos gale ir išėjimo kitame gale, angą. Likusi kuro dalis, esanti karštose dujose, sudeginama rezonansinėje zonoje, tuo pačiu užtikrinant tolimesnę šilumos susidarymą degimo produktų sraute. Šiluma, kuri išsiskiria degimo metu, yra perduodama per sienelę, supančią rezonansinę zoną, į reakcijos zonos su kietomis dalelėmis sluoksni. Suskystintas garas arba suskystintos dujos paduodamos į reakcinę zoną per angą joje, reguliuojant greitį taip, kad kietos dalelės visą laiką būtų maišomos. Reakcijos zonoje kietos dalelės kaitinamos, perduodant degimo produktų rezonansinėje zonoje šilumą, be tiesioginio degimo produktų srauto ir dalelių kontakto, be to, bendras degimo produktų srauto šilumos perdavimo koeficientas didesnis, negu tas, kuris galėtų būti pasiekiamas be pulsuojančio degimo.

Reaguojanti medžiaga per vieną arba keletą angų perduodama į reakcinę zoną, sumaišoma su pakaitintomis suskystintame sluoksnyje esančiomis dalelėmis ir reakcija vyksta endoterminės reakcijos ir sluoksnio fizikinio pasikeitimo dėka iki naudingų produktų susidarymo. Rezonansinių vamzdžių skleidžiamas intensyvus akustinis laukas, ir kietų dalelių sluoksnis reakcinėje zonoje pagerina reaguojančių medžiagų, esančių sluoksnyje, išmaišymą, taip pat pagerina dalelių masės perdavimą į dujas ir garus ir reakcijos greitį sluoksnyje, tuo pačiu pašalina reakcijos plėtimo apribojimus ir padidina reakcijos kinetikos efektyvumą, dėl

ko padidėja medžiagos perdavimo greitis.

Dujinių degimo produktų srauto pulsacijos, praeinančios per rezonansinius vamzdžius, dėka vyksta intensyvus masės perdavimas ploname sluoksnyje ties riba, kuri yra atskiriama tarp susidarančių karštų dujinių degimo produktų ir vidinės vamzdžio sienelės zona, dėl ko panaikinama pagrindinė šilumos perdavimo kliūtis. Šilumos tarp išorinės rezonansinių vamzdžių sienelės ir medžiagos reakcinėje zonoje ( išlydytame sluoksnyje ) perdavimo koeficientas paprastai yra aukštas. Netiesioginio kaitinimo sistemos šilumos perdavimo koeficientas 2 - 10 kartų didesnis už šilumos perdavimo koeficientą įprastose sistemose.

Pagal šį išradimą sistemos rezonuojančių šilumos perdavimo vamzdžių išmatavimai ir skaičius santykinai maži, palyginus su šilumokaičiais įprastuose degimo vamzdžiuose su netiesioginiu kaitinimu.

Kompaktinis degimas vyksta dėka efektyvaus kaitinimo ir plačios apimties šilumos išskyrimo greičio. Pagal šį išradimą pulsuojančio degimo įrenginio šilumos išsiskyrimo greitis yra nuo 4.000.000 iki 6.000.000 britaniškų šilumos vienetų/ kub. pėdai/ per valandą ( $\text{Btu} / \text{ft}^3 / \text{h}$ ), arba didesnis, kai tuo tarpu šilumos išskyrimo greitis įprastiniu būdu yra nuo 40.000 iki 400.000  $\text{Btu} / \text{ft}^3 / \text{h}$ . Pagal šį išradimą pulsuojančias degimas turi aerodinaminius vožtuvus savaiminiam kuro santykio su oro kiekiu reguliavimui degimo zonoje pakuroje ir išskiriama šiluma sudaro 4.000  $\text{Btu} / \text{ft}^3 / \text{h}$ , esant degimo produktų temperatūrai  $1649^{\circ}\text{C}$ , dujų greitis rezonansiniame vamzdyje apie 300 pėdų/ sek., svyravimai apie 165 decibelus ir 20 Hz, o išspinduliuojamo akustinio slėgio lygis sudaro maždaug 140 -

150 decibelų (matuojant reakcijos zonoje). Pagal šį išradimą intensyvaus akustinio lauko buvimą rodo daugelis reakcijų, kurios vyksta reakcinėje zonoje esant temperatūrai 38 - 93°C žemesnei negu įprastose sistemose.

Pagal šį išradimą tikslinga naudoti pulsuojančią pakurą, siekiant pilnai sudeginti sunkiai degantį kurą, tame tarpe, pvz., akmens anglį ir biomasės anglį. Pulsuojančio tekėjimo laukas išneša degimo produktus iš degančio nedujinio kuro, tuo būdu užtikrinant priėjimą prie deguonies. Pulsuojančioje pakuroje su rezonuojančiais vamzdžiais, iš esmės, nėra difuzijos apribojimų, o tai sumažina poreikį deguonies pertekliui.

Pagal šį išradimą gali būti panaudotas platus reaktorių ir sluoksnio medžiagų spektras. Labiau tinkamas pagal šį išradimą reaktorius su suskystintu sluoksniu arba su išplaunamu sluoksniu, ir suskystintos dujos arba dujos - nešėjos. Pagal išradimą reaktorius gali būti panaudojamas, kaitinant įvairias neorganines ir organines medžiagas, tame tarpe, smėlį, akmens anglies pelenus, druskas, organinius tirpiklius, panaudotus tepalus, nuodingas atliekas, akmens anglį, biomasę, akmeningą smėlį, degujį skalūną, kietas atliekas ir suspensijas, tokias kaip kanalizacijos vandenų nuosėdas, šarmus ir įvairius kietus katalizatorius.

Tinkamas būdas, realizuojant šį išradimą, kai šarmų dujofikacija garais atliekama be technologinio oro arba deguonies ir todėl sluoksnyje vyksta griežtai endoterminės reakcijos. Realizuojant šį išradimą užtikrinama šarmų regeneracija, nesusidarant metalo lydiniui.

Pagal šį būdą šarmai, kuriuose kietų dalelių koncentracija yra nuo 50 iki 75 %, smulkinami vandens garais arba purškiami tiesiai į kietas sluoksnio daleles reaktoriaus reakcinėje zonoje. Šarmai ant kietų dalelių paviršiaus sudaro, palyginus ploną dengiamąjį sluoksnį ir pirolizės procesas vyksta labai greitai. Tokiu būdu, susidarantis didelis paviršiaus plotas ir poringumas užtikrina greitą šarmų dengiamojo sluoksnio pirolizę, pakankamą užbaigti dujų oksidaciją vandens garais, natrio sulfato redukciją į natrio sulfidą redukciniame reaktoriaus zonoje, sieros išskyrimą iš angliavandenilių, kuri yra šarmuose daugiausia sieros vandenilio pavidalu, be to, visas natrias šarmuose sureaguoja sudarydamas natrio karbonatą, ir nesudaro metalo lydinių. Realizuojant šį išradimą tinkama sluoksniui medžiaga, kuri pirmiausia paduodama į reakcijos zoną, yra natrio karbonatas (kalcinuota soda). Šiuo atveju reakcijos zonoje yra nuo  $593^{\circ}\text{C}$  iki  $673^{\circ}\text{C}$ , palaikant esančio sluoksnyje kaitinimo elemento paviršiaus maksimalią temperatūrą nuo  $704^{\circ}\text{C}$  iki  $732^{\circ}\text{C}$ . Tai svarbu, apsaugant natrio karbonato, esančio sluoksnyje, suminkštėjimą ir išsilydymą, nes kitu atveju, galėtų įvykti sluoksnio aglomeracija ir susidarytų nepageidaujamas metalo lydinys. Sieros, kuri išsiskiria su dujomis reakcijos zonoje, regeneravimui regeneruoti natrio junginiai, esantys natrio karbonato pavidalu su nedideliu medžio anglies kiekiu, yra ištirpinami vandenyje, susidarant natrio karbonato šarminiam tirpalui, kuris panaudojamas gautų dujų praplovimui, tuo būdu sierra regeneruojama ir susidaro žalias šarminis tirpalas. Šis tirpalas toliau yra veikiamas įprastu būdu, susidarant natrio hidroksidui ir sulfidui (baltas šarminis tirpalas), kuris panaudojamas Kraft virinimo

procesu. Sieros vandenilio pėdsakai, kurie gali bėti dujose po praplovimo natrio karbonato tirpalu, esant bėtinumui pašalinami, keletą kartų dujas praplaunant natrio hidroksidu.

Realizuojant šio išradimo ypač tinkamą būdą, reakcijos zonoje yra smėlio arba kalcio karbonato sluoksnis, suskystintas garu. Į apatinę verdančio sluoksnio dalį paduodama biomasė. Pulsuojanti degimo kamera kaitinama kuru, paduodamu į degimo kamerą po sluoksniu. Rezonansiniai vamzdžiai perneša dujines degimo medžiagas per sluoksnį, sukurdami intensyvų akustinį lauką ir atiduodami šilumą dujofikacijos endoterminėms reakcijoms, vykstančioms verdančiame sluoksnyje. Biomasės dujofikacijos įrenginio ir metodo dėka gaunamos aukštos kokybės dujos, kurių degimo šiluma yra apie  $525 \text{ Btu} / \text{ft}^3$ . Deguto ir augalinio anglies kiekis, gautas dujų generatoriuje su pulsuojančiu degimu, yra mažesnis negu kitose sistemose, o tai rodo aukštesnį anglies pavertimo dujomis laipsnį, esant vidutinei reakcijos temperatūrai (apytikriai  $649^\circ\text{C}$ ). Įrenginys biomasės dujofikacijai užtikrina šilumos perdavimo koeficientą, kuris nėmažiau kaip keturis kartus didesnis už šilumos perdavimo koeficientą pačiose geriausiose dujofikacijos sistemose su netiesioginiu kaitinimu. Be to, intensyvus akustinis laukas padidina biomasės dalelių, esančių arti lauko, masės perdavimą ir bendrą reakcijos greitį sluoksnyje. Temperatūros sumažėjimas reaktoriuje, išsaugant gautų dujų kokybę, mažina poreikius, susijusius su medžiagomis reaktoriui ir jo kaina, ypač prie normalaus slėgio našumo pakėlimui, panaudojant aukštesnius reakcijos greičius. Realizuojant šį išradimą pagal kitą tinkamą būdą skystas sunkių angliavandeni-

- 18 -

lių kuras, tame tarpe, mazutas Nr. 2 - karinių transporto priemonių dyzelinių ir re-  
aktyvinių variklių kuras, mazutas Nr. 4 ir kt. mazutai, tokie kaip Nr. 6 ir bunkerinis  
kuras C, ir garai paleidžiami į reakcijos zoną, kurioje yra sluoksnis katalizato-  
riaus, kuris atsparus nuodijimui siera, aktyvuoja garą ir anglies dujų oksidaciją.

Tinkama reaktoriaus sluoksnyje temperatūra, veikiant katalitiškai garais, yra nuo

871 °C iki 972 °C. Skystas sunkių angliavandenilių kuras purškiamas tiesiai į

karštas katalizatoriaus sluoksnio daleles ir virinamas, paduodant į sluoksnio

apačią garus. Angliavandenilių kuras padengia sluoksnyje karštų dalelių pavir-

šių ir greit išgaruoja, todėl maksimaliai sumažėja krekingo ir suodžių susidarymo

galimybė arba visai to išvengiama. Katalizatorius, esantis sluoksnyje, aktyvuoja

vandens garus, kurie reaguoja su angliavandenilių garais, esant padidintai tem-

peratūrai sluoksnyje, ir kuras greit suskaldomas, susidarant prisotintoms vande-

niliu dujoms, kuriose yra metanas, anglies monoksidas, anglies dioksidas ir ne-

didelis kiekis aukštesnių angliavandenilių. Gautose dujose yra taip pat, iš esmės

visa siera, esanti kure, H<sub>2</sub>S pavidalu. Gautos dujos, kuriose yra lengvi produk-

tai, po to praplaunamos, pašalinant sieros vandenilį, ir papildomai perdirbamos

antroje stadijoje katalitinio skaldymo garais įrenginyje su nejudamu sluoksniu,

kad metanas, aukštesnių angliavandenilių pėdsakai būtų suskaldomi garais,

siekiant gauti maksimalią vandenilio išėigą. Pagal kitą metodą gautos dujos gali

būti išvalomos nuo sieros vandenilio ir kaip aukštos kokybės turtingos vandeniliu

dujos panaudojamos turbinų su kombinuotu ciklu, o taip pat vidaus degimo duji-

nių turbinų kaitinimui. Pagal šį metodą į reakcijos zoną arba į degimo zoną gali-

ma paduoti žemos kokybės kūrą, kuris naudojamas vidaus degimo dujinių turbinų ir dujinių turbinų su kombinuotu ciklu sistemose.

Realizuojant šį išradimo būdą susidaro mažiau rimtų problemų, susijusių su išlaidomis ir eksploatacija, kai naudojamas katalitinio skaldymo garais įrenginys, siekiant pilnai suskaldyti angliavandenilius. Pagal šį būdą kuras paduodamas tiesiai į karštą suskystinto sluoksnio medžiagą, intensyviai maišant sluoksnyje, kur greit kuras išgaruoja, po to tuojau pat vyksta kitos reakcijos su aktyvuotais vandens garais, kurie skystina katalizatoriaus sluoksnį. Tokiu būdu, čia nereikalingas specialus įrenginys sunkių žaliavų padavimui ir maišymui, o taip pat medžiagų išgarinimui, kaip reaktoriuje su nejudamu sluoksniu, norint pilnai katalitiškai garais suskaldyti angliavandenilius. Be to, pagal šį būdą šilumos perdavimo intensyvumas tarp kaitinamo sluoksnio ir verdančio sluoksnio yra labai didelis. Tokiu būdu 2.5 - 3 kartus sumažėja įrenginio išmatavimai, žaliavų ir kapitalinių įdėjimų išlaidos.

Sistemos patikimumas, panaudojant šio išradimo būdą, žymiai padidėja, palyginus su pilno katalitinio angliavandenilių suskaldymo garais sistema. Tuo atveju, kai naudojamas pilnas angliavandenilių katalitinis skaldymas garų įrenginyje su nejudamu sluoksniu, gali pablogėti paduodamos žaliavos išgaravimas dėl maišymo sutrikimų, esant įėjimo vamzdžio įvairioms eksploataavimo problemoms, todėl gali susidaryti suodžiai, nusėdantys ant katalizatoriaus nejudančiame sluoksnyje. Tai prailgina kuro išlaikymo reakcinėje zonoje laiką prie aukštos temperatūros, kadangi nėra aktyvaus katalizatoriaus paviršiaus prie įėjimo vamzdžio

( jis užterštas suodžiais ), todėl nuo vandens garų gali įvykti kuro krekingas ir dar papildomas suodžių susidarymas. Tokie sutrikimai trukdo normaliam darbui, palaipsniui prie įėjimo vamzdžio didėja suodžių sluoksnis ir galų gale užkemšami nejudamo sluoksnio vamzdžiai.

Tikslą pasiekiant pagal šį būdą, susidaro nedideli suodžių kiekiai, netrukdantys normaliai proceso eigai. Verdantis sluoksnis intensyviai maišomas, todėl sluoksnio medžiaga pastoviai juda, kol galų gale padengtos suodžiais katalizatoriaus dalelės pasiekia paskirstytoją, o tai sukelia aukštą vietinę garų - anglies stochiometriją. Įeinantys garai paverčia suodžius dujomis ir tolimesnei dujų fiikacijai nekyla eksploataavimo problemų. Tuo atveju, kai daug susidaro suodžių, kuro srautas laikinai gali būti sumažinamas, nekeičiant paduodamų vandens garų greičio, todėl visi suodžiai sluoksnyje garų pagalba bus paverčiami dujomis, nesumažėjus dujų gamybai visoje sistemoje arba verdantis sluoksnis gali būti išleidžiamas, tuo pačiu metu papildant šviežiu katalizatoriumi, tuo tarpu įrenginyje su nejudamu sluoksniu to padaryti neįmanoma.

Taigi, tokiu būdu pasiekus išradimo tikslą, pirma stadija yra patikima, labiau efektyvi, perdirbant sunkųjį skystą kurą į lengvesnius produktus, kurie gali būti išvalomi nuo sieros vandenilio, po to antroje stadijoje veikiami įprastu katalitinio skaldymo garais būdu, panaudojant nejudamą sluoksnį, be to, antroje stadijoje katalizatorius gali būti nikelis. Tai pagrįsta tuo, kad nejudančiame sluoksnyje antroje stadijoje dujų srautas užsukamas. Vienos stadijos verdančio sluoksnio prancūziško proceso atveju būdingas maišymas sluoksnyje ir angliavandenilių trūkimas

gali sukelti pavojų reaktoriaus darbui. Todėl šiuo atveju antroje stadijoje veikiami tik lengvi angliavandeniliai, perėję per verdantį sluoksnį, turintys nedidelį sieros kiekį arba visai be jos, turtingi vandeniliu ( 45 % - 65 % pagal tūrį), kas suteikia galimybę panaudoti nikelį kaip katalizatorių lengvų angliavandenilių katalitiniam skaldymui garais prie normalios temperatūros.

Paveiksluose pavaizduota:

*Fig.1.-* šio išradimo termocheminės reakcijos įrenginys su netiesioginiu kaitinimu ;

*Fig.2.-* šio išradimo temperatūrinis vaizdas pagal visą šilumos mainų rezonansinių vamzdžių ilgį, palyginus su įprastų dūminių vamzdžių temperatūriniu vaizdu be pulsuojančio degimo;

*Fig.3.-* šio išradimo U- konfigūracijos pulsuojančios pakuros rezonansiniai vamzdžiai sujungti su termocheminio reaktoriaus verdančiu sluoksniu;

*Fig.4.-* šio išradimo pulsuojančios pakuros elementai, naudojami netiesioginiam reaktoriaus su verdančiu sluoksniu, kaitinimui ;

*Fig.5.-* šio išradimo šarmų regeneracijai tinkamas įrenginys;

*Fig.6.-* šio išradimo šarmų regeneracijos technologinė schema.

Toliau detalai aprašoma, kaip pasiekiamas šio išradimo tikslas, be to kartu su aprašymu pateikiami pavyzdžiai, visa tai atskleidžia išradimo pagrindinius principus.

Kaip parodyta *Fig.1.*., termocheminiame įrenginyje yra (1) reaktorius su verdan-

čiu sluoksniu, kuris netiesiogiai kaitinamas pulsuojančia pakura 2, turintis degimo kamerą 3, aerodinaminį vožtuvą 4, ir vieną arba keletą prailgintų vamzdžių 6, supančių rezonansinę zoną, kurių viename gale yra įėjimo anga, o kitame gale išėjimo anga.

Reaktoriuje 1 yra viena arba keletas angų 6 medžiagos padavimui.

Reaktorius pakraunamas kietomis dalelėmis, kurias sudaro tinkama sluoksniui 7 medžiaga, kuri gali būti inertinė arba katalitinės prigimties, sugebanti užtikrinti sluoksnyje katalitinį reakcijos pagreitinimą. Reaktoriuje prie dugno yra anga 8, per kurią paduodama suskystinta terpė, tame tarpe vandens garai, dujos, išgarinti skysčiai arba viso to mišiniai. Pseudosuskystintos terpės srautas reaktoriuje paskirstomas, iš esmės, vienodai per visą skersinį sluoksnio pjūvį paskirstymo įrenginiu 9, kuris brėžinyje parodytas plokštelės pavidalu, tačiau joje gali būti keletas antgalių arba vamzdelių su skylutėmis, per kurias vienodai paskirstoma skysta terpė.

Prie kiekvieno rezonansinio vamzdžio išėjimo numatyta dujų, išeinančių iš rezonansinių vamzdžių, surinkimo erdvė 10. Susidarę reaktoriuje produktai išleidžiami per kitą atskirą angą 11. Iš reaktoriaus produktai patenka į separavimo įrenginį 12, kuris fig.1 parodytas ciklono pavidalu, tačiau gali būti rankinis filtras arba ir kita tinkama priemonė kietų dalelių atskyrimui nuo reaktoriuje gaunamų produktų.

Įrenginio fig.1 veikimas pagrįstas tuo, kad paduodamas kuras ir deguonį turinčios dujos į degimo kamerą 3, kur vyksta pirmos kuro dalies, patenkančios į

degimo kamerą 3, degimas, tačiau pulsuojančio degimo sąlygomis, tuo būdu susidaro karštų dujų srautas, kurį sudaro likusi kuro dalis, paduota į degimo kamerą 3, o pulsuojantis degimas reguliuojamas taip, kad užtikrinti pulsacijos greitį ne mažesnį kaip 20 Hz ir dinaminio akustinio spaudimo lygį degimo kameroje apie 165 decibelus. Karštų dujų srautas iš degimo kameros paduodamas prie įėjimo prailgintos rezonansinės zonos, kurią supa sienelė su įėjimu iš vienos pusės ir išėjimu iš kitos pusės. Karštame dujų sraute esanti likusi kuro dalis sudeginama rezonansinėje zonoje, tokiu būdu užtikrinant tolimesnį šilumos išskyrimą ir degimo produktų srautą. Nuo degimo produktų srauto šiluma perduodama per vamzdžių medžiagą, supančią rezonansinę zoną, į kietų dalelių sluoksnį 7, kuris yra reakcinėje zonoje. Suskystintos terpės garai arba dujos paduodamos į reakcijos zoną, praleidžiant per angą 8 tokiu greičiu, kad kietos dalelės būtų pastovioje maišymo stadijoje. Reakcijos zonoje kietos dalelės kaitinamos, perduodant degimo produktų srauto rezonansinėje zonoje šilumą, tuo pačiu degimo produktų srauto šilumos perdavimo kietoms dalelėms koeficientą užtikrinant didesnį, negu be pulsuojančio degimo. Reaguojanti medžiaga paduodama į reakcijos zoną per vieną arba keletą angų 6, sumaišoma su pakaitintomis kietomis dalelėmis ir suskystintu sluoksniu ir vykdoma endoterminė reakcija arba fizinis sluoksnio pasikeitimas iki naudingų produktų susidarymo. Intensyvus akustinis laukas, kurį skleidžia rezonansiniai vamzdžiai 5 į kietų dalelių sluoksnį 7 reakcijos zonoje, padidina sluoksnio ir jame esančių reaguojančių medžiagų, maišymą, tuo būdu padidina šilumos perdavimo ir vykstančios reakcijos greitį, kartu padidinant medžiagos praleidimo per sluoksnį greitį.

Pagal šį išradimą reaktorius gaminamas iš užgrūdinto plieno, bet gali būti pagamintas taip pat iš aukštai temperatūrai atsparaus lydinio, išlaikančio temperatūrą maždaug iki 982 °C, esant maždaug iki 12 atmosferų slėgiui. Esant aukštam slėgiui, geriau gaminti reaktorių cilindro formos. Kaip parodyta fig.5, reaktoriaus diametras arba plotis 22 gali būti ribose 0,30 m iki 3,05 m. Reaktoriaus aukštis (23) gali būti nuo 1,52 m iki 15,24 m. Reaktoriaus aukščio ir diametro arba pločio santykio ribos geriau nuo 1 iki 10. Reaktorius dirba, esant slėgiui maždaug nuo 1 iki 12 atmosferų, o temperatūros ribos maždaug nuo 510 iki 982 °C, priklausomai nuo žaliavos rūšies ir norimo gauti produkto.

Pagal šį išradimą gali būti panaudojamas platus reaktorių ir medžiagų sluoksniui spektras. Kieta sluoksnio medžiaga gali būti ir kaip šilumos gavėjas, ir kaip katalizatorius reakcijai. Konkrečios sluoksnio medžiagos panaudojimas reaktoriuje priklauso nuo reaguojančios medžiagos, pačios reakcijos ir gaunamo produkto. Tai gali būti neorganinė medžiaga, kurios sudėtyje yra, smėlis, pelenai arba metalo druska arba anglį turinti medžiaga, pvz., akmens anglis, augalinė anglis, koksas, biomasė, degantys skalūnai, panaudoti skalūnai, neorganinių ir anglį turinčių medžiagų mišinys arba sluoksnio medžiagos ir paduodamos į reaktorių medžiagos konversijai, mišinys, pvz., biomasė arba suspensija, tokia kaip akmens anglies vandenyje, arba šarmai. Sluoksnio medžiagos dalelių dydis geriau maždaug 50 - 500 mikronų ribose.

Suskystintos dujos, pvz., vandens garai, purškiami ir praleidžiami per sluoksnio medžiagą nuo 0,3 m per sekundę iki 3,05 m per sekundę greičiu. Tuo pačiu

sluoksnio medžiaga yra suskystinama, t.y., sluoksnio medžiagos dalelės maišomos ir pastoviai išlieka maišymo būsenoje. Suskystinto sluoksnio tankis priklauso nuo paduodamų suskystintų dujų arba terpės greičio ir klampumo, o taip pat nuo sluoksnio dalelių dydžių pasiskirstymo, tankio ir dalelių formos. Suskystintos dujos į reaktorių gali būti paduodamos orapūčio, kompresoriaus arba siurblio pagalba per dujų paskirstymo plokšteles, antgalius arba purškimo vamzdžius, tinkamas slėgis šiek tiek didesnis negu vidutinis slėgis reaktoriuje, siekiant kompensuoti slėgio kritimą, susijusį su purškimo priemonėmis, sluoksnio medžiaga ir išsidėstymu žemiau srauto linijos.

Šiame aprašyme vartojamas terminas "maišymo būsenoje" reiškia tokią būseną, kai kietos dalelės pastoviai yra judančiame, suskystintame ir nuplaunamame sluoksnyje, o aeruojama prapučiamomis dujomis, arba yra suspensijos sluoksnyje. Terminas "maišymo judėjimas" reiškia, kad kietos dalelės juda, tada, kai jos yra "maišymo būsenoje".

Kai kietų dalelių reaktoriuje sluoksnis tampa vienalytis, t.y. vienodai suskystintas, į pulsuojančio degimo kamerą paduodamas oras ir kuras. Kuras gali būti skystis, dujos, kieta medžiaga arba jų mišinys. Tinkamas skystas kuras, toks kaip sunkusis mazutas, arba dujinis kuras, toks kaip gamtinės dujos, arba sintetuojamos dujos, tačiau gali būti naudojamas ir kietas kuras, pvz., akmenis anglis, augalinė anglis, biomasė arba jos anglis. Kai kuras paduodamas į pulsuojančio degimo kamerą, jis uždegamas kibirkštimi arba dujų uždegimo įrenginiu.

Reakcijos produktai ir dalis suskystintų dujų išleidžiami iš reaktoriaus per vamz-

dynus reaktoriaus viršutinėje dalyje. Jeigu patenka kietos sluoksnio dalelės ir kieti reakcijos produktai, jeigu tokie yra, atskiriami ciklone ir gražinami atgal į reaktorių. Dujinių reakcijos produktų srauto dalis ir suskystintos dujos, iš kurių atskirtos kietos dalelės, gražinamos atgal į reaktorių suskystinimui. Jeigu dujose yra lengvai kondensuojamų junginių, tai dujos atšaldomos, kad kondensuotųsi bent dalis lengvai kondensuojamų junginių, kurie po to paduodami į produkto regeneracijos zoną.

Kaip parodyta fig 4, pulsuojančio degimo kamera susideda iš trijų pagrindinių dalių: 1) įleidžiamieji oro vožtuvai 59, labiau tinkami aerodinaminiai negu mechaniniai; 2) degimo kamera 60 su kuro purkštuvu 61; 3) vienas arba keletas išleidimo arba rezonansinių vamzdžių 62. Kuras ir oras paduodami į degimo kamerą, ir mišinys uždegamas. Staiga kylant temperatūrai ir susidarant degimo produktams, pastoviai kyla slėgis, tuo pačiu didėja ir slėgis kameroje. Kai karštos dujos plečiasi, aerodinaminis vožtuvas, veikiantis kaip diodas tekančiai terpei, labiau praleidžia srovę rezonansinio vamzdžio kryptimi. Pagal šį išradimą gali būti panaudojama keletas įvairių tipų pulsuojančio degimo kamerų, tame tarpe, panaudojant Helmholtz, Schmidt ir Rijke vamzdžius. Dėl puikių degimo savybių ir gerų rezonansinių charakteristikų tinkamesnė Helmholtz degimo kameros konfigūracija, kurios dėka gaunama aukščiausia slėgimo pulsacija britaniškam šilumos vienetui per valandą, sudegant šiam kuro tūriui degimo kameroje. Tokiu būdu gaunamas ir aukštas srauto pulsacijos lygis, padidinantis degimo efektyvumą ir užtikrinantis slėgio didėjimą, neleidžiant sumažėti slėgiui šilu-

mos mainų zonoje ir žemiau srauto esančiose pelenų surinkimo sistemose. Galima panaudoti mažiausiai dviejų tipų oro įleidimo vožtuvus. Nors mechaniniai vožtuvai užtikrina šiek tiek didesnį pripūtimo slėgį, bet paprastai jų patikimumas žemas, ypač naudojant kietą kurą. Deginant kietas daleles, padidėja pelenų susidarymo galimybė ir vožtuvų užteršimas jomis mechaninėse sistemose. Erozija, korozija, o taip pat metalo susidėvėjimas riboja mechaninių vožtuvų panaudojimą. Tokiu būdu, aerodinaminiai vožtuvai labiau tinkami dėl jų patikimumo, juose nėra judančių detalių, nereikalinga pastovi priežiūra.

Pagrindinė pulsuojančios kameros stochiometrija gali būti nustatyta šios srities specialistų jau projektuojant ir gali išlikti santykinai pastovi prie įvairių degimo greičių spektro. Esant žemutinei šio spektro ribai, degimo sukelta slėgio pulsacija kameroje yra žema. Tokiu būdu, per aerodinaminį vožtuvą įleidžiamo oro kiekis, priklausomai nuo dinaminio slėgio pulsacijos degimo kameroje, yra žemas. Didinant kuro padavimo greitį, padidėja degimo kameros slėgio svyravimų amplitudė dėl padidėjusio šilumos išskyrimo, kuris apsprendžia degimo sukeltą dinaminį slėgį. Visa tai apsprendžia didesnio oro kiekio įsiurbimą per aerodinaminį vožtuvą. Taigi, degimo kameros stochiometrijos procesas išlieka automatinis per visą degimo diapazoną, aktyviai nekontroliuojant oro ir kuro masės padavimo į degimo kamerą greičius.

Pagrindinė vožtuvo funkcija yra ta, kad jis veiktų kaip tekančios terpės diodas, išnaudojantis degimo kameroje slėgio svyravimus taip, kad būtų įsiurbiamas oras degimui. Konstruojant vožtuvus, yra labai svarbūs du jo parametrai, t.y., minima-

lus pasipriešinimas įsiurbiamam orui ir veikimas kaip diodo tekančiai terpei. Pastarasis parametras yra neribotas santykis tarp pasipriešinimo srautui iš kameros ir pasipriešinimo srautui į kamerą (įsiurbimui). Taigi, kuo didesnis vožtuvo sugebėjimas dirbti kaip diodui, tuo daugiau įsiurbiamo oro sudeginto kuro britaniškam šilumos vienetui per valandą. Degimo kamera, kuri dirba paprastai su dideliu oro pertekliumi, panaudojant vožtuvą, turintį minimalų pasipriešinimą oro įsiurbimui (mažesnis už minimalų praleidimo diametrą), dirbtų mažesne oro stochiometrija, jeigu būtų sustabdomas oro įsiurbimas. Jeigu prie įėjimo yra fiksuotas stabdymas, degimo greitis kameroje gali keistis, kai tuo tarpu indukuota stochiometrija pasiliks pastovi visam degimo diapazonui.

Galima sumažinti mažiausią kameros degimo greitį, sumažinus minimaliai tiek aerodinaminio vožtuvo, tiek rezonansinių vamzdžių diametrą. Tai padidintų degimo kameros paleidimo savybes. Esant tokiam konstrukcijos variantui, maksimalaus degimo greičio su minimaliu degimo greičiu santykis galėtų būti didesnis kaip 8:1. Tokiu atveju, prie oro padavimo reiktų ventiliatoriaus, jeigu to prireiktų krentančiam slėgiui esančioje žemiau srauto sistemoje. Tačiau paduodamo oro srautas lieka priklausomas nuo degimo greičio, kadangi degimo kameros darba ir toliau sąlygoja savaiminis įsiurbimas ir slėgio pasiskirstymas pripūtimo metu. Ši sistemos konstrukcija maksimaliai didina degimo intensyvumą dėl dviejų priežasčių. Visų pirma, esant dideliame srauto pasipriešinimui abiejose kameros pusėse, susidaro didelė dinaminio slėgio amplitudė. Antra, dėka oro ventiliatoriaus susidaro galimybė didesniai "pripūtimui" iki aukšto kameros degimo

greičio pasiekimo, aukštesnio negu būtų pasiekama atmosferinio slėgio sąlygomis.

Slėgio svyravimas paprastai yra nuo 0,14 iki 0,35 kg/cm<sup>2</sup> (maksimali svyravimų amplitudė). Šie svyravimai yra sinusoidiniai ir Helmholtz degimo kameros dažnio charakteristika yra ketvirtis pagrindinio svyravimo bangos. Šio slėgio svyravimų lygis sudaro nuo 165 iki 190 decibelų garsinio signalo slėgio.

Garso intensyvumas, matuojamas prie rezonansinio vamzdžio sienelės, yra 140-150 decibelų ribose. Akustinio lauko dažnumo diapazonas priklauso nuo degimo kameros konstrukcijos ir charakterizuojamas tikrai kuro sugebėjimu užsidegti.

Paprastai, sukuriama akustinio lauko dažnumui turi įtakos rezonansinių vamzdžių geometrija (diametras, ilgis, vienas ar daugiau vamzdžių) ir rezonansinių vamzdžių tūrio santykis su degimo kameros tūriu. Svyravimų dažnis paskaičiuojamas pagal formulę:

$$f = \frac{C}{6.28 L_t} \left( \frac{V_t}{V_c} \right)^{0.5}$$

kur:

C - garso greitis

V<sub>c</sub> - degimo kameros tūris

L<sub>t</sub> - išleidimo vamzdžio ilgis

V<sub>t</sub> - išleidimo vamzdžio tūris

Paprastai, kuo didesnis dažnumas, tuo trumpesnė turi būti pulsuojančio degimo kamera.

Degimo kameros geometrija parenkama taip, kad greitai sudegtų dalis kuro ir tai sukeltų slėgio svyravimus, o degimas frakcijos, esančios žemiau srauto nuo maksimalaus dinaminio slėgio srities, priklausytų nuo srauto režimo sukeltų svyravimų. Degimo greitis kameroje labiausiai priklauso nuo sūkurių, kurie susidaro pereinant į kameros skersinio piūvio erdvę. Tačiau rezonansiniame vamzdyje degimo greitis labiausiai priklauso nuo išilginio srauto pulsuojančio greičio, kuris palaipsniui didėja kryptimi nuo rezonansinio vamzdžio įėjimo iki išėjimo.

Degimas rezonansiniame vamzdyje, paprastai, apsprendžia apanglėjusių, nebaigtų degti medžiagų sudeginimą, susidariusių degant stambioms dalelėms, kurios išlekia ir dalinai sudega aukščiau srauto, degimo kameroje. Pulsuojančio degimo greičiui pagal rezonansinį vamzdį padidėjus, padidėja apanglėjusių dalelių sudegimo greitis, nes greičiau pagaunamos, be to, sumažėja parcialinis  $O_2$  slėgis. Sistemose su stacionariu srautu santykinis judėjimas tarp dujų ir kietų dalelių priklauso nuo sūkurių, turbulentiškumo ir t.t., ir tokie laukai turi tendenciją užgesti už (srauto kryptimi) liepsnos, t.y. ten, kur jie labiausiai reikalingi.

Tradicinio degimo atveju ir tradiciniuose dūmavamzdžiuose, iš esmės, visas kuras sudega tradicinėje kameroje ir degimo šiluma atiduodama dūminėms dujoms. Todėl degimo šiluma išnešama su karštomis dūminėmis dujomis fizinės šilumos pavidalu. Tada nuo karštų dūminių dujų per dūmavamzdžių sieneles šiluma perduodama medžiagai reaktoriuje pagal visą dūmavamzdžių ilgį, todėl jų temperatūra palaipsniui mažėja, kaip parodyta *fig. 2.* (tradicinis degimas, pa-

naudojant dūmavamzdžius). Prie įėjimo į dūmavamzdį, kur dūminių dujų temperatūra žymiai aukštesnė, negu dūmavamzdžių sienelės ir reaktoriaus temperatūra, tai čia pirmiausia vyksta šilumos perdavimas. Toliau, t.y. žemiau srauto šilumos perdavimas dūmavamzdžiuose darosi vis labiau ir labiau konvekcinis, kaip parodyta *fig. 2*, kadangi dūminių dujų temperatūra vis mažėja. Dūminių dujų temperatūros kitimo greitis, panaudojant tradicinius dūmavamzdžius, proporcingas perduodamos šilumos srautui atstumu pagal dūmavamzdžių ilgį. Kaip parodyta *fig. 2*, šis greičio pasikeitimas palaipsniui mažėja, nes mažėja kritimas tarp dūminių dujų temperatūros ir temperatūros reaktoriuje. Kadangi dūminių dujų temperatūra prie išėjimo iš dūmavamzdžių žema, ir dujų greitis darosi vis mažesnis, tai konvekcinės šilumos perdavimo koeficientas tarp dūminių dujų ir vidinės dūmavamzdžių sienelės tampa vis mažesnis ir todėl šilumos srautas, priklausantis nuo temperatūros kritimo tarp dūminių dujų ir sluoksnio temperatūros ir šilumos perdavimo koeficiento, darosi vis mažesnis. Pulsuojančio degimo atveju, kai naudojami pulsuojančio degimo rezonansiniai vamzdžiai, tiksliai dalis dujų sudega degimo kameroje, ypač deginant žemos kokybės kurą, todėl, paprastai, degimo produktų temperatūra prie įėjimo į rezonansinį vamzdį, kaip parodyta *fig. 2*, yra mažesnė. Todėl galima panaudoti rezonansinių vamzdžių gamybai pigesnes medžiagas, palyginus su medžiagomis, kurios reikalingos, esant aukštai dūminių dujų temperatūrai prie įėjimo į tradicinio tipo dūmavamzdžius.

Dūminių dujų temperatūros išilgai rezonansinio vamzdžio greičio kritimas, kaip

parodyta *fig. 2*, taip pat mažesnis, negu naudojant tradicinius dūmavamzdžius. Tai pagrįsta tuo, kad degimas toliau vyksta ir toliau išsiskiria šiluma prie įėjimo į vamzdį srityje. Tai nemažina pulsuojančio degimo kameroje maksimalios kuro konversijos, kadangi vyksta intensyvus maišymas, kurį sukelia degant kurui srauto pulsacija, esanti degimo kameros rezonansiniame vamzdyje, kur ir baigiasi kuro degimas.

Lėtas dūminių dujų temperatūros mažėjimas, kaip parodyta *fig. 2*, užtikrina aukštą šiluminio srauto lygį ir šilumos išsiskyrimą zonoje, palyginus su tradicinėmis dūmavamzdžių sistemomis dėka paprastai didesnio vidutinio temperatūrų logaritmų skirtumo tarp dūminių dujų temperatūros ir temperatūros reaktoriuje ir dėl didesnio radiacinio šilumos perdavimo toje zonoje.

Už degimo zonos dūminių dujų temperatūra rezonansiniame vamzdyje palaipsniui mažėja. Nepaisant to rezonansinio vamzdžio pulsuojančio degimo atveju konvekcinis šilumos perdavimas likusioje vamzdžio dalyje didesnis, negu tradiciniuose dūmavamzdžiuose.

Rezonansiniame vamzdyje dūminių dujų srautas susideda iš dviejų sudėtinių dalių. Vienas greitis - tai vidutinis srauto greitis, o kitas - pulsuojanči dalis, kurios amplitudė palaipsniui didėja nuo rezonansinio vamzdžio įėjimo prie išėjimo kryptimi. Pagal šį išradimą pulsuojančio degimo rezonansiniame vamzdyje dūminių dujų vidutinis greitis, paprastai, didesnis, negu tradiciniuose dūmavamzdžiuose. Tai pagrįsta tuo, kad degant kurui pulsuojančio degimo kameroje padidėja slėgis. Šis slėgio padidėjimą sukelia pulsuojantis slėgis, susidarantis pulsuojančio

degimo kameroje, ir aerodinaminio vožtuvo savybė dirbti kaip tekančios terpės diodui. Toks slėgio padidėjimas kameroje gali užtikrinti dūminių dujų greitį apie 304, 8 m/s, nenaudojant pripučiamo ventiliatoriaus, kuris paduoda orą degimui, arba ištraukiamojo ventiliatoriaus. Tokiu būdu aukštas vidutinis srauto rezonansiniame vamzdyje greitis užtikrina didelius paviršinius greičius ir aukštus šilumos perdavimo tarp dūminių dujų ir vidinės rezonansinio vamzdžio sienelės koeficientus.

Pagal šį išradimą šilumos mainams vamzdžių tinkamos konstrukcijos gali būti skirtingos. Jos gali būti vieno tiesaus vamzdžio pavidalu, gali būti daug vamzdžių, U- formos pavidalu, spiraliniai ir su apsauginiu ( ekranuotu) korpusu. Rezonansinių vamzdžių išmatavimai, forma ir skaičius priklauso nuo reikiamo šilumos perdavimo profilio ir reaktoriaus išmatavimų. Pagal vieną variantą degimo produktai išleidžiami per atskirus rezonansinius vamzdžius, įeinančius į reaktorių.

Perduodant vamzdžių šilumą medžiagai, dūminių dujų srautai susijungia dujų kameroje ( kolektoriuje), kuri yra prie išėjimo iš reaktoriaus. Pagal vieną tinkamų variantų sluoksnio šilumos mainų paviršių sudaro lygiagretūs rezonansiniai vamzdžiai 5, kurių įėjimai sujungti su degimo kamera 3, o išėjimai su bendra surinkimo erdve 10. Pagal kitą ypač tinkamą variantą, fig.3, rezonansinę zoną sudaro vienas arba keletas vamzdžių 13, kurie išlenkti U - formos pavidalu ir išdėstyti taip, kad išlinkimas būtų arti verdančio sluoksnio 14 viršūnės, o rezonansinių vamzdžių įėjimas 15 ir išėjimas 16 būtų arti reaktoro-

riaus 18 dugno 17 . Pagal šį variantą degimo kamera 19 sujungta su rezonansinių vamzdžių įėjimu 15, o išmetamų dujų surinkėjas 20 sujungtas su rezonansinių vamzdžių išėjimu 16. Tokie U - formos rezonansiniai vamzdžiai sumažina problemas, susijusias su terminiu išsiplėtimu ir įtempimu, kuri gali suardyti vamzdžių sujungimus. Pagal dar vieną variantą dujiniai degimo produktai praeina į viršų per rezonansinių vamzdžių mazgą, turintį tris dalis. Dujiniai degimo produktai pirmiausia praeina per tiesią vamzdynų mazgo dalį, po to spiralinę ir tiesią antrąją dalį, ir tada išleidžiami. Spiralinė vamzdžių mazgo dalis šiame įrenginyje užtikrina didelį šilumos mainų paviršių ir todėl toks vamzdžių mazgas tinkamas, kai procesas vyksta esant aukštai temperatūrai. Dalis rezonansinių vamzdžių gali turėti cilindrinį ekraną. Ta ekrano dalis gali būti įvairaus ilgio, priklausomai nuo sluoksnio prigimties ir medžiagos, kuri perdirbama, kadangi proceso metu gali būti, kad kontaktuojančio su sluoksniu metalo temperatūra turėtų būti mažesnė, negu numatyta, kad neišsilydytų metalas. Žiediniame tarpe tarp rezonansinio vamzdžio ir ekrano lieka palyginus nejudrus plonas dujų sluoksnis, kurio dėka išorinėje ekrano pusėje temperatūra žemesnė numatytos. Šarmų regeneracijos atveju ši temperatūra yra žemesnė, apie 732 °C. Žiedinis tarpas gali užtikrinti ekrano išorinio paviršiaus vidutinę temperatūrą 149-204 °C žemesnę negu rezonansinio vamzdžio ekranuotos dalies išorinio paviršiaus vidutinė temperatūra. Ekranas reikalingas apsaugant nuo nepageidaujamų fizinių ir cheminių sluoksnio ir paduodamos medžiagos pasikeitimų, kurie gali įvykti dėl vamzdžių išorinio paviršiaus prie išėjimo angos santykinai aukštos temperatūros.

Šio išradimo tikslas labiausiai pasiekiamas, regeneruojant visų rūšių šarmus, ypač Kraft šarmus ir sulfitinius šarmus. Kaip pavyzdys pasiekiant šio išradimo tikslą, gali būti paminėta Kraft šarmų regeneracija, kadangi šis procesas apsprendžia eilę kitų panašių technologijų.

### Šarmų regeneracija

Tinkamas būdas reaktoriuje 21 šarmų regeneracijai, pasiekiant išradimo tikslą, pavaizduotas fig 5. Reaktoriaus viršutinėje dalyje virš reaktoriaus verdančio sluoksnio zonos susidariusių dujų ir nusėdusių chemikalų išleidimui yra išėjimas 24. Į verdantį sluoksnį panardinti vamzdžiai 25 iš eilės pulsuojančių degimo agregatų, kurių kiekvieno kūrenimo intensyvumas sudaro nuo  $1,5 \times 10^{12}$  iki  $5 \times 10^{12}$  britaniškų šilumos vienetų per valandą, priklausomai nuo reaktoriaus išmatavimų ir jo praleidimo pajėgumo. Tokių reaktorių perdirbtų šarmų kietos fazės tinkamas našumas yra 1,2,3,6 ir 10 tonų per valandą. Tinkami išmatavimai reaktoriaus, perdirbančio 6 tonas šarmų per valandą atmosferos slėgyje, yra: plotis - 2,4 m, ilgis - 1,5 m ir aukštis - 5,5 m.

Tinkamas rezonansinių daugiavamzdžių pulsuojančios pakuros veikimas pagrįstas nuosekliai išsidėsčiusiais agregatais, be to, aerodinaminis vožtuvas sujungia kiekvieną tendemo 27 vieneta, siekiant užtikrinti nesutampantį faze darbą, tokiu būdu sumažėja triukšmas ir padidinamas slėgio svyravimas pulsuojančioje pakuroje.

Reaktoriuje yra priemonė 28, kuria tiesiogiai į verdantį pseudosuskystintą sluoksnį purškiami šarmai. Tinkama šio varianto verdančio sluoksnio medžiaga

yra granuliuotas natrio karbonatas (kalcinuota soda), kurio granulių dydis yra nuo maždaug 150 mikronų iki maždaug 600 mikronų, geriau vidutinis dydis 250 mikronų.

Reaktoriuje yra įrenginys 29 garų ir recirkuliuojančių dujinių degimo produktų padavimui, paskirstant juos pseudosuskystintame sluoksnyje. Tinkama garų, paduodamų į sluoksnį, temperatūra yra 593 -649 °C, o tinkamas pseudosuskystinimo greitis 0,6 -1,2 m/s. Šarmų regeneracijos schema pateikta fig.6, kurioje dujų generatorius yra reaktorius 31. Šarmai purškiami į pseudosuskystintą sluoksnį, kuris suskystinamas garais ir dalimi recirkuliuojančių dujų, gautų dujų generatoriumi. Nors purškimo kokybė ir svarbu, tačiau purškimo charakteris esminės reikšmės dujofikacijos eigai neturi.

Tinkamas garų purškimo į sluoksnį būdas - per vandens garų purškiklį. Šarmų, kurie šalutiniai pramonės įmonių produktai, analizė pateikta lentelėje. Perdirbamoje medžiagoje yra 67 % sausų medžiagų, todėl kaitinama rezervuare, turinčiame garams apvaskalą ir maišiklį. Siurblys gali būti tūrinis arba labiau tinkamas slėgio krumpliaratinis. Šarmo laikymui rezervuare tinkama temperatūra 82 °C. Padavimo linija prie purškiklio turi būti izoliuota ir geriau, kad būtų pravesas atitinkamas garų vamzdis.

Galima palengvinti medžiagos padavimą, pakankamai pakaitinus padavimo liniją garų vamzdžiu, pravesu prie padavimo linijos, stipriai prapučiant purškimo antgalį prieš perjungiant šarmų padavimo liniją ir paprastą krumpliaratinį siurblį.

## 2 lentelė

Šarmų, kaip žaliavos šaltinio, analizė

( 67 % sausų medžiagų )

Sudėtis	Svoris % ( sausoms medžiagoms)
Anglis	37.7
Vandenilis	3.7
Deguonis	31.6
Azotas	1.0
Bendra siera	4.3
Natris	18.7
Kalis	1.1
Chloridas	0.5
Sulfatas	1.1
Sulfidas	1.

Kietos sluoksnio dalėlės, naudojamos šarmų regeneracijai, susideda iš natrio karbonato, liekanos druskos, susidarancios šarmų dujofikacijos metu. Sluoksnio užtaisą gali sudaryti įvairios techninių natrio karbonatų dalelės. Norint užtikrinti sluoksnio reikiamą pseudosuskystinimą, reikia sujungti daleles, besiskiriančias dydžiu. Siekiant išvengti sluoksnio aglomeracijos, šarmai pradedami paduoti į sluoksnį esant 649<sup>0</sup>C , labiau tinkama, 538<sup>0</sup>C. Esant tokiai temperatūrai, anglies nusėdimo greitis ( suodžiai ) didesnis, negu dujofikacijos greitis. Sudarancioje verdantį sluoksnį kalcinuotoje sodoje turi būti likęs anglies sluoksnis sluoksnio aglomeracijai išvengti. Jeigu pradinėje sodoje yra labai mažas anglies kiekis, tai visas anglies sluoksnis gali būti dujofikuotas pseudosuskystintu garu iki to laiko,



temperatūrą. Paviršiaus greičio apatinė riba sudaro apie 0,03 m/s. Esant tokiam arba mažesniam greičiui, pseudosuskystinimas ir verdančio sluoksnio temperatūra išsisluoksniuoja pagal reaktoriaus ilgį. Normaliomis eksploataavimo sąlygomis verdančio sluoksnio temperatūra vienodai pasiskirsčiusi viso proceso metu. Šiluma į verdantį sluoksnį 31 paduodama rezonansiniais vamzdžiais 32, kurie tiesiogiai sujungti su pulsuojančios pakuros kamera. Dūminės pakuros dujos, kurios išleidžiamos iš reaktoriaus, esant temperatūrai maždaug 704- 760 °C ribose, nukreipiamos šilumos regeneracijai į vandens šildymo arba su dūmavamzdžiais katilą 33. Tokiuose katiluose galima deginti ir gautas reaktoriuje dujas, norint turėti vieną priemonę vandens garams gauti. Netisioginio šilumos perdavimo būdu iš 67 % šarmų galima gauti dujas, kurių šilumos vertė 300 - 400 britaniškų vienetų kubinei pėdai normaliomis sąlygomis. Tinkami vidinio sluoksnio kaitintuvai, pasiekiant šio išradimo tikslą, yra pulsuojančios pakuros rezonansiniai vamzdžiai, kaip aprašyta aukščiau, tačiau gali būti naudojami techniškai atitinkamai ekranuoti ir reguliuojami elektriniai kaitintuvai, ypač tose šalyse, kur ekonomiškai tikslinga juos naudoti dėl labai pigios elektros energijos, pvz., kai naudojami hidroenergetiniai generatoriai. Kitas sluoksnio kaitinimo pavyzdys - tai perkaitinto garo panaudojimas, kuris leidžiamas šilumos mainų vamzdžiais, panardintais į verdantį sluoksnį. Intensyvus akustinis laukas nesklinda nuo kaitinimo vamzdžių, tiek naudojant elektrinį kaitintuvą, tiek garo vamzdžius, kaip aprašyta aukščiau, nors akustinis laukas reikalingas pseudosuskystinto sluoksnio reakcijos greičiui .

Dujifikacijos reaktoriaus konstrukcija labiau tinkama pseudosuskystinto sluoksnio stačiakampio formos, be to, pulsuojanti pakura įrengta šoninėse sienose vos vos pakeltoje padėtyje ir sujungta su horizontaliai įrengtais rezonansiniais vamzdžiais. Tokia konstrukcija supaprastina pseudosuskystintų vandens garų surinkimą ir techninį pakuros aptarnavimą. Tipiška pakura susideda iš dviejų tarpusavyje sujungtų pakurų, kurios veikia skirtingomis fazėmis, kad išvengti triukšmo. Toks dvigubas modelis turėtų turėti nominalų šilumos efektyvumą apie  $2,2 \times 10^{12}$  britaniškų vienetų per valandą. Įrengimui, kuris parodytas fig 5, kurio našumas 1 tona per valandą ( pagal šarmų sausas medžiagas ), reikėtų 3 tokių modulių. Toje vamzdžių vietoje, kuri arčiausia degimo kameros, pritvirtintas šilumą izoliuojantis ekranas, mažinantis vamzdžių, kurie liečiasi su sluoksnio kietomis dalelėmis, sienelių temperatūrą, tuo būdu apsaugantis minėto sluoksnio daleles nuo suminkštėjimo, kai jos susiliečia su labai įkaitintais metalo vamzdžiais. Gautos dujos išeina iš dujų generatoriaus ir patenka į cikloną 30, kuriame nusėdusios dalelės atskiriamos nuo dujų srauto. Dalis susidariusių dujų gražinamos atgal į pseudosuskystintą sluoksnį per ežektorių 34. Ežektoriumi judančia terpe yra vandens garai, kurie gaminami viduje proceso izoliatoriuje 35. Likusi dalis dujų atšaldoma dujų generatoriaus tipo katile 35 ir perduodamos, kad gauti iš jų energiją, arba technologiniam procesui. Gautų dujų išskiriama šiluma yra apie 240 - 400 britaniškų vienetų kubinei pėdai, be to, dujose yra 65 % ( pagal tūrį ) vandenilio ir todėl jų energijos tankis keletą

kartų didesnis už gaunamą autoterminėse sistemose. Atskiriamos ciklone smulkios dalelės, išnešamos iš sluoksnio, sudaro tik nedidelę paduodamos anglies dalį. Ši anglis yra lengvai regeneruojama, ištirpinant nusėdusias natrio karbonato kietas daleles. Anglis gali būti vėl paduodama į sluoksnį ir panaudojama pulsuojančioje pakuroje endoterminės šilumos gavimui reaktoriuje arba gali būti panaudojama kitiems tikslams. Pakartotinai paduodant perdirbimui, reikėtų sumaišyti su šviežiu šarmu, kuris skatina liekanos sulipimą su kietomis sluoksnio dalelėmis ir sumažina priešlaikinį išnešimą iš sluoksnio.

Naudojant verdantį sluoksnį, tikslinga naudoti patikrintą, patikimą registruojant rezultatus, iškrovimo sistemą. Paprastai reaktoriuje kietų dalelių surinkimui yra sriegiamojo tipo vožtuvas, dalelės surenkamos reguliariais intervalais anglies kiekio, kaip funkcijos praleidžiamos medžiagos kiekio nustatymui, ir tiksliam dujųofikacijos laipsnio kontroliavimui. Nežiūrint to, kad ir siera ir sulfatai paduodami šarmų pavidalu, sieros ir sulfato kiekis sluoksnyje mažėja arba lieka pastovus. Sulfido kiekis sluoksnyje yra nežymus.

Neorganinės druskos, esančios sluoksnio kietoje fazėje, surenkamos per vožtuvo 37 medžiagą ir medžiagą iš ciklono, susideda iš natrio karbonato, tame tarpe, natrio sulfido, natrio sulfato, natrio chlorido ir likęs nedidelis kiekis susideda iš anglies. Tos medžiagos ištirpinamos bake 36, skirtame neorganinių druskų regeneracijai ir grąžinami į ciklą panaudojimui popieriaus pramonei. Be to, regeneruoja anglį, pvz., tirpinimo bake 36 su maišikliu, už kurio įrengtas diskinis filtras ( brėžinyje neparodyta ) anglies nusodinimui. Vanduo lengvai praleidžiamas

per anglies dalelių akytą plėvelę ir gali lengvai ištirpinti esančias ten druskas.

Ištirpinimo laipsnis sudaro 97,7- 99 %.

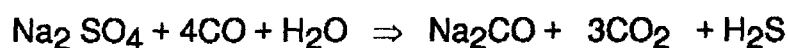
Pagrindinę sieros dalį šarmuose tikslinga išskirti sulfidų pavidalu. Nurodyti produktai gali būti lengvai regeneruojami, po blogo praplovimo susidarant žaliems šarmams. Atšaldytos atidirusios dujos paduodamos į praplovimo (dujų valymo) kolonėlę, kur recirkuliuojantis praplovimo skystis susideda iš šarminio natrio karbonato, gauto tirpinimo bako 30. Atidirusios dujos praplaunamos ir susidaro žali šarmai. Apvalytos ( desulfitintos) dujos gali būti panaudotos kaip kuro šaltinis katilui, dujinei turbinai arba kitam įrenginiui. Žali šarmai po to gali būti paduoti į tradicinį gamyklos kaustikinį kontūrą, kur karbonato nusodinimui, kuris susidaro reaguojant hidroksidui ir natrio sulfidui, pridedama kalkių.

Galimos tokios pagrindinės reakcijos, panaudojant sierą, kurios vyksta dujų generatoriuje:

1. Ligninas  $\Rightarrow$  organiniai sulfidai + H<sub>2</sub>S
2. Organiniai sulfidai + H<sub>2</sub>S  $\Rightarrow$  CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>S
3. Na<sub>2</sub>S + H<sub>2</sub>O + CO<sub>2</sub>  $\Rightarrow$  Na<sub>2</sub>CO + H<sub>2</sub>S
4. Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 4CO  $\Rightarrow$  Na<sub>2</sub>S + 4CO<sub>2</sub>
5. H<sub>2</sub>O + CO  $\Rightarrow$  CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>

Dujifikacijos šiluminę ir dujinę pakopą reiškia (1) ir (2) reakcijos, kurių metu susidaro žemo molekulinio svorio dujiniai produktai ir sieros vandenilis. Neorganinių druskų katalitinio charakterio dėka garų dujifikacijos reakcijos sumažina

iki labai mažų kiekių sulfidinių produktų susidarymą. (3) Reakcija yra natrio sulfido karbonizacija panaudojant garus ir anglies dioksidą. Ši reakcija pasidaro svarbi, kai garų aukštas parcialinis slėgis, o temperatūra santykinai žema, t.y. tokia, kaip dujų generatoriuje. (4) Reakcija yra natrio sulfato redukcija iki natrio sulfido, reaguojant anglies monoksidui. (5) Reakcija rodo pusiausvyros pasikeitimą garuose, kuri pagrindinai užtikrina anglies monoksido ir anglies dioksido santykį. Nei natrio sulfatas, nei natrio sulfidas generatoriaus terpėje nėra atsparūs. Galutinio rezultato sulfatinė reakcija yra:



Sieros vandenilis po to absorbuojamas vandeninėje fazėje natrio sulfido regeneracijai. Natrio karbonato tirpalas, gautas ištirpinus sluoksnio kietas daleles, yra idealus tirpalas gautų dujų praplovimui. Tokiu būdu gautas natrio karbonato tirpalas yra bazinis, tai rūgštus sieros vandenilis absorbuojamas natrio bisulfito pavidalu. Šis žalias šarmas po to gražinamas į tradicinį kaustizacijos indą.

Apie 82 % bendros sieros, paduodamos į reaktorių, išleikia dujine forma.

Daugiau kaip 67 % įvedamo sulfato paverčiama redukuota forma. Kitaip sakant, tikrai 3 % įvedamos bendros sieros pasilieka sulfatų pavidalu. Tokiu būdu, pagal šį išradimą sistema gali gauti natrio sulfidą su labai aukštu konversijos laipsniu.

1 lentelėje pateiktas įrenginio, dirbančio pagal parodytą technologinę schemą, kai našumas 1 tona per valandą (pagal sausą svorį), materialinis balansas.

139

Numatoma, kad 80 % bendros sieros išlekia sieros vandenilio pavidalu su generatoriaus dujomis ir 70 % šarmuose esančios sieros yra redukuojama.

Visas sieros vandenilio kiekis absorbuojamas dujų skruberyje. Anglis, išmetama su kietomis dalelėmis, sudaro 5 % ir ji nusodinama pakartotinam padavimui į dujų generatorių.

Materialinis energetinis balansas 3 lentelėje pateiktas įrenginiui, kurio našumas 1 tona per valandą. Balansas pagrįstas panaudojant dujinį kurą, kuris deginamas pagalbiniam katilui. Kaip matoma, nurodytai išėgai sunaudojama  $7,47 \times 10^{12}$  britaniškų šilumos vienetų per valandą arba 72 % suvartojamo pajėgumo. Su atidirbtais garais prarandama  $2,424 \times 10^{12}$  britaniškų šilumos vienetų per valandą arba 23 % suvartojamo pajėgumo.

Su regeneruojama anglimi išėkvojama likusi dalis suvartojamo pajėgumo. Pagal bendrą suvartojamą pajėgumą santykiniam šarmų kiekiui bendras šiluminis sistemos efektyvumas sudaro apie 78,7 % . Jeigu reikalina tik garų išėiga, tai įgyvendinama sudeginus gautą kaip produktą kurą dūminių dujų šilumos utilizacijos sistemoje. Naudojant didelio našumo katilą, gautas šiluminis naudingumo kaeficientas tik garus gaminant sudaro 67 % , tai yra didesnis už naudingumo koeficientą, pasiekiamą Tomplinson tipo regeneracijos katiluose , nežiūrint šio išradimo mažų dujųfikacijos ir regeneracijos sistemų išmatavimų.

140

45

## 3 lentelė

## Materialinio techninio balanso lentelė

Pakraunama medžiaga	kg/ val.	10 <sup>12</sup> brit. šilumos vien./ val.
Šarmų sausos medžiagos ( 6600 didžiausia degimo šiluma)	907,2	13200
		Viso: 13200
<b>Produkcija</b>		
Dujinio kuro išeiga (didžiausia degimo šiluma 286 br. šil. v/ kub pėdai sausų dujų )	516,9	7.473
Atidirbtas garas ( viršslėgis 600 pėdų / kv. coliui, prisot. )	948,0	2.424
Regeneruojama anglis	15,4	0.489
		Viso: 10.386
<b>Nuostoliai</b>		
Per dūminį vamzdį	3164,2	1.503
Karštų druskų iškrovime	391,4	0.251
Dujų apdirbimas šruberyje	1219,2	0.877
Šiluminiai reakcijos nuostoliai	-----	0.183
		Viso: 2.814
		Visa produkcija + nuostoliai: 13.200
		Šiluminis efektyvumas su anglies regeneracija: 78.7 %

Šią sistemą galima įgyvendinti modulinę įrenginių pagalba, kurių našumas nuo vienos iki dešimties tonų per valandą. Tokie įrenginiai gali būti sumontuoti ant pavažų, juos galima pervežti sunkvežimiu arba geležinkeliu, be to, reikalauja mažai pastangų surinkimo aikštelėje. Tokiu būdu, ypač pagal šį išradimą pritaikant šarmų regeneracijos sistemą, gaunami geri rezultatai, padidinant sulfatinio

arba sulfitinio celiuliozės perdirbimo technologijos našumą.

### Biomasės dujųofikacija

Įrenginys, pavaizduotas fig.1, yra skirtas biomasės dujųofikacijai, susideda iš verdančio sluoksnio netiesioginio kaitinimo, kuriame yra smėlis arba kita kieta medžiaga, pseudosuskystinama pseudosuskystintomis dujomis arba garais, paduodamais per purškimo plokštelę arba purškiklį, kurie yra apatinėje sluoksnio dalyje. Cilindriniame reaktoriuje yra keletas angų 9 biomasei paduoti skirtingais būdais. Paprastai, biomasė paduodama per apatinę angą, padidinant biomasės išlaikymą reakcijos zonoje. Be angų biomasės padavimui yra šoninė anga 11 dujų išleidimui, kuri yra viršutinėje sluoksnio erdvės dalyje. Pulsuojanti pakura sumontuota taip, kad degimo liepsna kiltų į viršų. Be to, kuras paduodamas į degimo kamerą 3 po reaktoriumi. Pagal šią konstrukciją pulsuojančioje pakuroje yra 12 rezonansinių vamzdžių, nuvestų nuo degimo kameros (schemoje supaprastinta ir pavaizduota mažiau vamzdžių). Biomasės dujųofikacijos įrenginyje šilumos perdavimo koeficientas sudaro apie 13,8-18,4 kkal/m. val.<sup>0</sup>C tai yra 50% daugiau, negu tradicinėse sistemose.

Iš verdančio sluoksnio gautos dujos ir dūminės dujos iš pakuros perleidžiamos per cikloną ir apanglėjusių biomasės dalelių ir išneštos iš sluoksnio medžiagos surinkimui. Dūminės dujos iš pulsuojančios pakuros po to gali būti panaudojamos perkaitintiems garams.

Pakuros paleidimui kompresoriumi paduodamas suspaustas oras. Oras pučiamas į degimo kamerą, iki kuro padavimo įjungus degimo kameroje uždegimo žvakės. Po to paduodamas kuras ir pakura pradeda dirbti. Tinkamas kuras yra biomasė ir biomasės anglis, šiek tiek pridodant gautų generatoriumi dujų kietas anglies daleles ir biomasės sudegimas baigiasi rezonansiniuose vamzdžiuose. Tradicinis kūrenimas paskaičiuotas tokiam laikui, kol pilnai arba beveik pilnai sudega augalinė anglis ir biomasė, reikalauja žymiai daugiau kapitalinių įdėjimų, nes skiriasi savo išmatavimais, reikalavimais slėgių pokyčiams (ypač esant pseudosuskystintam sluoksniui) ir brangia izoliacija, kuri reikalinga didelėse pakurose sumažinti šilumos nuostolius. Naudojant endoterminių reakcijų šilumai griežtai apibrėžtus generatoriumi gautų dujų kiekius, sumažėja kapitaliniai kūrenimo įdėjimai, bet tai mažina gautų dujųofikacijos metu dujų išėigą. Naudojant pulsuojančią pakurą, biomasę ir augalinę anglį galima deginti tik pridodant nedidelį kiekį gautų dujų. Tokiu būdu, anglį ir biomasę efektyviai sudegina tokioje pat kompaktinėje pakuroje, esant aukštam šilumos išsiskyrimo intensyvumui ( $4 \times 10^{12}$  -  $6 \times 10^{12}$  brit. šil. v. per valandą kubinei pėdai). Ryškus kieto kuro anglies degimas padidina radiacinį šilumos perdavimą rezonansiniuose vamzdžiuose

Apatinėje reaktoriaus dalyje, kur tiesiogiai į terpę paduodama biomasė, šilumos mainai tarp verdančio sluoksnio ir apdirbamos medžiagos labai dideli (tai verdančio sluoksnio charakteringa savybė). Tokiu būdu, susidaro dideli išlekiančių medžiagų ir pirolizės greičiai. Tai žymiai padidina anglies poringumą. Tokia labai

143

akyta anglis sudega lengviau, negu neaktytos anglies dalis. Išlekiančių medžiagų intensyvumo dėka gaunamos aukštesnės kokybės dujos, išsiskiriančios dujojant anglį ir kurios teka per verdantį sluoksnį prie reaktoriaus išėjimo. Garai, naudojami sluoksnio suskystinimui taip pat gali reaguoti su sunkesniais produktais ir augalinio kuro anglimi, tokiu būdu, gaunami lengvesni produktai. Visi šie procesai yra endoterminiai ir gauti produktai yra aukštesnės kokybės. Šilumos mainų intensyvumas ir akustinio lauko, spinduliuojamo į reakcijos zoną, skirtingas intensyvumas apsprendžia aukštą reakcijos intensyvumą.

Pseudosuskystinimui gali būti naudojamas suspaustas oras, užtikrinantis autotermišką darbą kaitinant pakurą iki pilno pajėgumo. Tokiu būdu galima greitai pasiekti norimą sluoksnio temperatūrą. Biomasė gali būti paduodama į sluoksnį, kai sluoksnio temperatūra pasiekia 600 °F (315 °C). Tiesą sakant, biomasės degimas sluoksnyje nebūtinai, nes šilumos perdavimas nuo vamzdžių labai aukštas, ir sluoksnio temperatūra gali pakilti iki reikiamos per trumpą laiką be autotermiškio pseudosuskystinimo. Kada sluoksnyje pasiekiamas reikiama temperatūra (pvz., 1000-1400 °F arba 538-760 °C, labiau tinkama 1200 °F arba 648 °C), pseudosuskystinimas oru perjungiamas į garų sistemą. Garai gaunami katile ir perkaitinami dūminiais garais prieš paduodant į verdantį sluoksnį. Garų ir paduodamos biomasės santykis labiau tinkamas 0.5 -1.4 ribose. Garų išlaikymo trukmė labiau tinkama nuo 2 iki 4 sekundžių, esant greičiui apie 10 pėdų per sekundę (0.9-3 m/s). Biomasė paduodama reikiamu greičiu ir dujų dujų sistemoje pradeda dirbti. Biomasė paduodama per padavimo angą prie žemo slėgio.

144

Labiau tinkamas pulsuojančios pakuros slėgio svyravimai:  $0,14 - 0,35$   $\text{kg/cm}^2$  ribose. Nurodyto slėgio svyravimai yra nuo 165 iki 190 decibelų garso slėgio lygio, o tai vėliau sudaro 140 -155 decibelus rezonansinių vamzdžių išorėje skleidžiamo garsinio slėgio. Akustinis laukas, sklindantis į verdantį sluoksnį, padidina šilumos ir masės mainus pačiame verdančiame sluoksnyje ir reakcijos greitį dujų generatoriuje. Biomasės dujųofikacijos rezultatai rodo, kad reaktoriuje susidaro aukštesnės kokybės produktai ir mažesnis deguto / augalinio anglies kiekis, negu kituose reaktoriuose, esant reaktoriuose 100 - 150  $^{\circ}\text{F}$  (38 - 65  $^{\circ}\text{C}$ ) aukštesnei temperatūrai. Sklindantis akustinis laukas taip pat iš esmės pagerina pseudosuskystinimo charakteristiką, išskyrus sluoksnio barbatavimą (dujų pūslelių augimą). Tai turi įtakos produktų sutrūkimui sluoksnyje ir padidina reakcijos greitį (garų panaudojimas) ir produktų kokybę. Padidėjus reakcijos greičiui, padidėja anglies virtimo dujomis laipsnis (97%), sumažėja augalinio anglies susidarymas (mažiau 3%) ir, iš esmės, nesusidaro degutas (mažiau kaip 12 dalių / milijonui kondensate). Kadangi susidaro daugiau  $\text{C}_2$ , susidariusių dujų degimo šiluma labai aukšta (apie 525 brit. šilumos vien. kub. pėdai) <sup>arba 19,5 J/m<sup>3</sup></sup> esant 649  $^{\circ}\text{C}$ ), nežiūrint santykinai mažos metano koncentracijos. Be to, apie 0,20% sausų dujų sudaro acetilenas (apie 5% nuo gauto  $\text{C}_2$  kiekio). Esant 649  $^{\circ}\text{C}$ , kinetika acetileno susidarymui nepalanki. Iš tikrųjų, vykstant biomasės dujųofikacijai pagal šį išradimą, susidaro daug aukštos temperatūros izomerų. Akustinė stimuliacija generatoriuje padidina reakcijos greitį, todėl ir susidaro tokie aukštos temperatūros izomerai normalios temperatūros sąlygomis.

### Sunkių skystų angliavandenilių rafinavimas garais

Šio išradimo tikslas pasiekiamas pagal kitą labai tinkamą būdą, panaudojant reaktorių su verdančiu sluoksniu, kuris yra dviejų etapų rafinavimo garais įrenginio pirma stadija, ir skirtas sunkiems skystiems angliavandeniliams, tame tarpe, mazutui Nr 2, 4 ir 6, C bunkerio kuro likučiams ir kurui akmens anglies vandeni-  
nės suspensijos pavidalu.

Pagal šį variantą, pirma stadija yra rafinavimo įrenginys su verdančiu sluoksniu ir antra stadija - aukštos temperatūros, rafinavimo garais įrenginys su nejudamu sluoksniu. Įrenginyje su verdančiu sluoksniu naudojamas katalizatorius kalcio aluminato pagrindu garų aktyvacijai ir daliniam kuro rafinavimui. Verdantis sluoksnis šiuo atveju yra kaip įrenginio pirma stadija. Pagrindinė šios stadijos funkcija - padidinti garų aktyvumą ir dalinai suskaldyti žaliavą iki lengvų angliavandenilių ir vandenilio, prieš jai patenkant į aukštos temperatūros rafinavimo įrenginį su nejudamu sluoksniu. Verdančiame sluoksnyje taip pat pagrindinė sieros dalis paverčiama  $H_2S$ , sudarant pakankamą parcialinį vandenilio slėgį. Padavus dalinai rafinuotą kurą į aukštos temperatūros rafinavimo įrenginio antrą stadiją su nejudamu sluoksniu, galima reguliuoti katalizatoriaus gadinimą siera nejudamame sluoksnyje.

Be rafinavimo pirmos stadijos funkcijos verdantis sluoksnis turi ir kitas dvi svarbias funkcijas. Pirma funkcija - sunkaus kuro verdančiame sluoksnyje greito išgarinimo ir pirolizės sąlygų sudarymas. Tuo tikslu, kuras išpurškiamas ir užnešamas ant karšto medžiagos paviršiaus verdančiame sluoksnyje. Tokiu būdu

verdantis sluoksnis veikia, kaip tiesioginio kontakto šilumokaitis. Greitas išgarinimas ir pirolizė vyksta dėl to, kad tarp katalizatoriaus paviršiaus ir kuro susidaro šilumos perdavimo galimybė dėl vykstančio burbuliuojančio virimo. Panaudojant šio išradimo principus buvo sėkmingai išgarintas toks sunkus klampus kuras, kaip mazutas Nr 6 ir bunkerio C kuras. Labai svarbi kita verdančio sluoksnio funkcija, būtent vienodas aktyvuotų garų išmaišymas garinant kurą. Kaip pseudosuskystinta terpė naudojami perkaitinti garai, tai sudaro galimybę tolygiai išmaišyti kuro ir vandens garus.

Dalinai apvalytas kuras po to paduodamas iš verdančio sluoksnio ( rafinavimo įrenginys pirmos stadijos ) į nejudamą sluoksnį ( antra stadija ). Temperatūra darbei nejudamame sluoksnyje aukšta ir sudaro aukštesnę negu  $897^{\circ}\text{C}$ , be to, panaudojamas atsparus sierai katalizatorius, be nikelio ( kad nesugadintų sieros ). Šiluma perduodama nejudamame sluoksnyje įtvirtintais kaitintuvais. Pagal tinkamą išradimo variantą, tarp sluoksniniai kaitintuvai yra vienos arba kelių pulsuojančių pakurų rezonansiniai vamzdžiai. Nejudamo sluoksnio labai tinkamas variantas yra vamzdelinės konstrukcijos užpildytas katalizatoriumi sluoksnis.

Nedidelė dalis turtingų vandeniliu dujų, gautų antroje stadijoje, gali būti perduodama atgal į verdantį sluoksnį, kad būtų užtikrintas reikiamas sluoksnio pseudosuskystinimas ir sumažinta anglies susidarymo ir katalizatoriaus sugadinimo siera galimybė.

Pasiekiant išradimo minėto varianto tikslą, susidaro kai kurios galimybės lankstumui šioje technologijoje, kas neįmanoma pagal ankstyvesnę technologiją. Ver-

dančio sluoksnio panaudojimas suteikia galimybę greitam kuro išgarinimui ir greitam garų sumaišymui su vandens garais. Skysto kuro išgarinimas šilumos mainų tiesioginio kontakto metu maksimaliai padidina šilumos srauto išbarstymą po skystį ir tuo pačiu sumažina išgarinimo laiką, ir potencialų anglies susidarymą. Dalinis kuro apvalymas prieš paduodant į rafinavimo įrenginį su nejudamu sluoksniu leidžia išvengti anglies susidarymo ir katalizatoriaus sugadinimo siera antros stadijos metu.

Dviejų stadijų rafinavimo įrenginio panaudojimas užtikrina didelį lankstumą, rafinuojant sunkiuosius angliavandenilinius kurus, nes padidina galimybę reguliuoti anglies susidarymą ir maksimaliai mažina katalizatoriaus paviršiaus sugadinimo galimybę. Verdantio sluoksnio panaudojimas pirmoje valymo stadijoje suteikia eilę privalumų, susijusių su kuro išgarinimu, kuro sumaišymu su garais ir daliniu sunkių angliavandenilių rafinavimu iki lengvų angliavandenilių. Verdantis sluoksnis užtikrina lankstumą, regeneruojant katalizatorių, ir apsaugo nuo per didelio anglies sudeginimo.

#### **Pramoninių ir buitinių atliekų perdirbimas**

Siekiant išradimo tikslo pagal kitą variantą, energijos turinčių dumblinų atliekų, pvz., gautų valant buitinius tekančius vandenį ir pramonines atliekas su šalutiniais produktais, dujųfikacija garais atliekama, paduodant atliekas dumblo pavidalu tiesiai į karštą virinamą sluoksnį per atitinkamas padavimo angas. Vandens garai dujųfikacijos reakcijai gaunami garų generatoriumi ir perkaitinus juos rezonansinių vamzdžių dūminėmis dujomis. Pluoštinio dumblo, turinčio plasti-

nės medžiagos, dujųofikacijos rezultatai rodo, kad reakcija vyksta dideliu greičiu todėl, kad susidaro didelis šilumos perdavimo į verdantį sluoksnį greitis ir padidintas šilumos bei masės perdavimo greitis dėl verdantėje sluoksnyje susidariusio akustinio lauko. Gautas produktas susideda iš vidutinio kaloringumo dujų, kurių degimo šiluma sudaro 400 brit. šilumos vienetų kubinei pėdai <sup>arba 14,9 MJ/m<sup>3</sup></sup> 3-4 kartus turtingesnis vandeniliu, negu gaunant dujų generatoriumi, tiesiogiai pučiant orą.

#### Akmens anglies ir durpių dujųofikacija

Šio išradimo tikslo siekiant pagal dar vieną variantą, akmens anglies ir durpių dujųofikacija garais vykdoma, paduodant medžiagą suspensijos pavidalu ( arba sausu pavidalu) tiesiai į karštą sluoksnį, kuris pseudosuskystinamas garais. Gali būti naudojami katalizatoriai, tokie kaip aprašyta sunkių skystų angliavandenilių rafinavimo atveju, kurie aktyvuoja garus ir padidina rafinavimo garais ir dujųofikacijos reakcijos greičius.

Pagal šio išradimo minėtą metodą tinkamas kuras dujųofikacijai garais yra žemos kokybės akmens anglis ir žemos kokybės akmens anglies suspensijos. Žemos rūšies anglis tiesiogiai paduodama į karštą virinamą sluoksnį, susidedantį iš kalcio aluminato irb kalkių, kurio temperatūra yra apie 760 - 870°C, o slėgis 7,03 kg/cm<sup>2</sup>. Dėl aukšto kaitinimo greičio ir šilumos perdavimo verdančiame sluoksnyje lakių medžiagų atsiskyrimas iš anglies greitai baigiasi. Greitai atsiskyrus lakioms medžiagoms, susidaro akyta ir lengvai sugebanti reaguoti apanglėjusi medžiaga. Panaudojant kalcio aluminatą ir CaO, vyksta tarp vandens garų ir apanglėjusios medžiagos reakcija ir susidaro CO<sub>2</sub> ir H<sub>2</sub>. Priklausomai

nuo pseudosuskystinimo greičio apanglėjusi medžiaga toliau reaguoja su garais, kol ji bus išskirta iš verdančio sluoksnio. Atsiskyrusi apanglėjusi medžiaga atskiriama, pvz., ciklone. Sieros absorbcijai į verdantį sluoksnį geriausiai tinka įvesti sausus sieros sorbentus (pvz., klintis), turinčius atitinkamų dalelių dydžių daleles. Kalcio - aliumininio katalizatorius trinamas sluoksnyje labai mažai, todėl katalizatoriaus išnešimo nuostoliai yra maži.

Kieta medžiaga ( apanglėjusi medžiaga, klintis ir kai kuri katalizatoriaus dalis), atskirta ciklone, labiau tinkama, paduoti į pulsuojančią pakurą, pridedant gautas dujas kuro perdirbimo reakcijai į reaktorių su verdančiu sluoksniu. Akmens anglies dalių dydžiai parenkami taip, kad apie 80% šilumos, reikalingos degimui, būtų apanglėjusios medžiagos atsiskyrusiose (nusodintose) dalelėse. Likusi reikalinga šiluma gaunama iš sintetintų dujų, kurios paduodamos į pulsuojančią pakurą kartu su atskirta apanglėjusia medžiaga, pelenais ir klintimis. Klintis pakuroje toliau absorbuoja sierą, atlaisvinamą iš apanglėjusios medžiagos. Pagal šį variantą siekiant išradimo tikslo, pakuroje deginant akmens anglį su klintimis, atskiriama 78 % sieros, esant kalcio santykiui su siera 1,5: 1.

#### Negili akmens anglies dujofikacija

Siekiant šio išradimo tikslo pagal kitą variantą, akmens anglis yra pirolizuojama negilios dujofikacijos proceso metu, gaunant naudingas degančias dujas, skystius ir medžiagas kietų dalelių pavidalu. Pagal šį variantą į reakcijos zoną perduodama akmens anglis. Anglis, kurioje yra aukštas lakių medžiagų kiekis, pvz., koksine anglis, paduodama į verdantį sluoksnį ir vykdoma pirolizė normalioje

150

temperatūroje, maždaug apie  $649^{\circ}\text{C}$ . Verdantis sluoksnis užtikrina labai aukštus kaitinimo ir lakių medžiagų atskyrimo greičius ir todėl susidaro poringa apanglėjusi medžiaga sluoksnyje ir dujos, kuriose yra skystų angliavandenilių garai. Toliau skystis gali būti perdirbamas naftos perdirbimo gamykloje ir gaunamas naudingas skystas kuras. Dujos panaudojamos pseudosuskystinimui, atgal sugrąžinus į ciklą, todėl negilios dujofikacijos metu patenka anglies monoksidas ir vandenilis, kurie pagerina skystų produktų kokybę. Į pseudosuskystintą terpę prileidžiamas nedidelis kiekis vandens garų darbo kokybei pagerinti. Labai poringa apanglėjusi medžiaga po to parduodama darbui katilams, naudojantiems akmenis anglį. Tokiu būdu, šio išradimo tikslas pasiekiamas, gaunant sintetinį dujinį ir skystą kurą iš tinkamų akmenis anglies atsargų lengvomis reaktoriuje sąlygomis ir panaudojant nedidelius kapitalinius įdėjimus.

#### Krekingas ir cheminių produktų gamyba

Pagal kitą šio išradimo variantą į reakcijos zoną paduodamas sunkus skystas angliavandenilis ir vandens garai, reguliuojant sąlygas ir optimizuojant labai vertingų cheminių procesų gamybą, ypač tokių, kaip etileno, propileno ir butileno. Reakcijos zonoje labai tinkamas temperatūros diapazonas  $871 - 982^{\circ}\text{C}$ . Labiausiai tinkamas slėgio diapazonas  $1,4 - 2,1 \text{ kg/cm}^2$ . Verdančio sluoksnio medžiagos kietų dalelių dydis yra 600 mikronų.

Pagal šį išradimo variantą angliavandenilinis kuras purškiamas tiesiogiai ant karštų verdančio sluoksnio dalelių, kuriame yra arba inertinis substratas arba rūgštus katalizatorius. Netiesioginis angliavandenilinio kuro kontaktas su kie-

tomis dalelėmis užtikrina kaitinimo greičius, viršijančius 1000000 °C/s. Angliavandenilių krekingo specialistui aišku, kad gaunant olefininius junginius, produkto išeiga priklauso nuo didelių kaitinimo greičių. Gautos iš reaktoriaus dujos greitai atšaldomos, kad nesusidarytų antrinės koksavimo reakcijos. Atšaldytos dujos po to atskiriamos tradicine distiliacija ir gaunami vertingi produktai, tokie kaip etilenas, propilenas, butilenas, vandenilis ir šiluminės dujos.

Pagal šiuolaikinę angliavandenilių krekingo technologiją angliavandeniliai ir vandens garai paduodami į vamzdinį reaktorių krosnies tipo su netiesioginiu kaitinimu. Šilumos perdavimas nuo vamzdžio sienelės reaguojančiai medžiagai, paprastai, konvektinis. Dėl konvektinio šilumos mainų greičio apribojimo, kuris gali susidaryti vamzdiniame reaktoriuje, reaguojančių medžiagų kaitinimo greitis irgi ribotas. Tokiu būdu, labai vertingų olefininių junginių išeiga bus mažesnė už optimalią išeigą.

Pagal tinkamą šio išradimo variantą reaguojančių junginių kaitinimo greitis nereguliuojamas konvektinio šilumos mainų mechanizmu. Vietoj to, tiesioginis kontaktas su skystu angliavandeniliu ir karšta kietomis dalelėmis medžiaga užtikrina aukštą kaitinimo greitį. Be to, karštos kietos dalelės apie 600 mikronų diametro, sudaro didžiulį paviršių kontaktiniams šilumos mainams. Pvz., naudingas paviršiaus plotas šilumos mainams vamzdiniame reaktoriuje sudaro tik 1 kv. metrą kubiniam reaktoriaus tūriui, o tuo metu naudingas paviršiaus plotas tinkamame reaktoriuje su virinamu sluoksniu sudaro 5000 kv. m. kub. tūriui verdančio sluoksnio reaktoriuje.

Angliavandenilių krekingo sąlygomis, kurių reikia gaunant aukštas oleininių junginių išėigas, vamzdinėse krosnyse dideliu greičiu vyksta kokso atidėjimas ant vamzdžių sienelių vidinio paviršiaus. Tai papildomai apriboja šilumos perdavimo koeficientą ir padidina vamzdžių sienelių temperatūrą. Todėl reguliariais intervalais vyksta vamzdžių sienelių paviršiaus valymas nuo kokso. Kokso pašalinimas susideda iš to, kad atskirta anglis priverčiama reaguoti su vandens garais arba oru. Pageidautina panaudoti vandens garus, kadangi kokso valymo operacijoje temperatūrą reguliuoti lengviau, negu kokso valymui panaudojant orą, nes toks valymas yra labai egzoterminis. Vis dėlto kokso pašalinimas garais labai lėtas procesas, reikalaujantis daug ilgalaikių prastovų. Pagal labiau tinkamą variantą su verdančiu sluoksniu kokso atsidėjimas ant karštų kietų dalelių neapriboja šilumos mainų greičių arba reaguojančių medžiagų kaitinimo. Koksas, susidarantis ant šilumos mainų sluoksnio paviršiaus, bus apvalytas veikiant verdančio sluoksnio kietomis dalelėmis. Tokiu būdu, kokso atidėjimas mažiau kenksmingas pagal šį variantą, negu vamzdinio krosnies tipo reaktoriuje. Be to, jeigu būtina pagal šį variantą su verdančiu sluoksniu apvalyti nuo kokso, tai tolygus temperatūrų pasiskirstymas, kuris būdingas verdančiam sluoksniui, padeda išvengti per didelio perkaitinimo.

#### Naftos produktų išskyrimas iš degančių skalūnų, bituminio smėlio ir kitų naftingų mineralų

Pagal šio išradimo kitą variantą naftos produktų išskyrimas iš degančių skalūnų, bituminio smėlio ir kitų naftingų mineralų gali vykti efektyviai ir galima gauti geras

153

išeigas dėl to, kad gaunamos didelės lengvai kondensuojamų angliavandenilių išeigos.

Tinkamas kuras pagal minėtą variantą yra degantys skalūnai, ir bituminis smėlis.

Pagal šį variantą tinkamu būdu pagal dalelių dydį surūšiuotas degantis skalūnas paduodamas į termocheminį reaktorių. Verdančio sluoksnio medžiaga yra anksčiau sausu būdu distiliuotas degantis skalūnas. Sluoksnio pseudosuskystinimui

naudojamas nedidelis kiekis perkaitintų vandens garų ir cirkuliuojančių generatoriaus dujų. Perkaitinti garai paduodami į sluoksnį prie  $788 - 816 \text{ } ^\circ\text{C}$  temperatūros. Pulsuojančia pakura netiesiogiai kaitinant sluoksnį, palaikoma temperatūra  $538 - 593 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Paduodant perkaitintus garus į sluoksnį, vyksta endoterminė reakcija tarp apanglėjusios medžiagos ir garų. Susidaro CO ir vandenilis.

Vykstant endoterminei reakcijai tarp anglies ir garų ir intensyviai maišant verdantį sluoksnį, garų temperatūra greitai sumažėja iki sluoksnio temperatūros. Pulsuojanti pakura kūrenama apanglėjusia medžiaga, šiek tiek pridėjus generatoriaus dujų. Kuro degimas sukelia pulsaciją, todėl rezonansiniuose vamzdžiuose sukuriamas turbulentinis nestacionarus srautas. Tai padidina šilumos perdavimą nuo rezonansinių vamzdžių sienelių verdančiam sluoksniui. Bendras šilumos perdavimo koeficientas sudaro apie 50 brit. šilum. vien. per valandą kvadratinei pėdai- Farengeito laipsniais. Intensyvus akustinis laukas, sklindantis nuo rezonansinių vamzdžių į verdantį sluoksnį, papildomai padidina šilumos ir masės mainus reaktoriuje su verdančiu sluoksniu, padidina produktų išeigą ir H/C santykį gautuose produkto pavidalu skysčiuose. Aukštas šilumos perdavimo koe-

ficientas ir akustinis laukas, skleidžiamas pakuros rezonansiniais vamzdžiais, užtikrina lakių medžiagų atsiskyrimą iš degančio skalūno dalelių ir jų pirolizę. Tokiu būdu, sumažinami kapitaliniai įdėjimai įrengimams ir padidinama išeiga ir skystų produktų kokybė. Dėl nepertraukiamo veikimo reakcijos sistemos su netiesioginiu kaitinimu taip pat susidarys labai poringa ir lengvai reaguojanti apanglėjusi medžiaga, kurioje žemas pelenų kiekis, ir kuri idealiai tinka degimui. Staigiai kaitinamant ( greitis daugiau kaip  $10,000\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ ) ir paduodant vandens garus į sluoksnį su apanglėjusia medžiaga, susidaro vandenilis ir CO arti degančių skalūnų išskiriamų lakių medžiagų. Dėl to susidaro lengvai reaguojantys pirolizės fragmentai ( laisvi radikalai ), kurie stabilizuojami išsiskiriančiu vandeniliu pačiu jų susidarymo momentu. Didelis lakių medžiagų išskyrimo greitis ir vandenilio buvimas reakcijos vietoje padidina skystų produktų išeigą ir kurie mažiau linkę polimerizuotis. Išvengiant polimerizacijos, galima gauti didelius kiekius lengvai kondensuojamų angliavandenilių. Lakūs produktai ( susidedantys iš kondensuojančių ir nekondensuojančių dujų) išleidžiami iš reaktoriaus, atskyrus apanglėjusią medžigą ir sorbentą ciklone. Surinkimo sistemoje garai staiga atšaldomi gražintais į ciklą naftos produktais arba gražintais į ciklą naftos produktais, kurie praėję hidrovalymą. Nekondensuojančios dujos iš atšaldančio skruberio išleidžiamos, kad išlėktų rūgščios dujos. Stipriai atšaldyti kondensuojantys produktai įjungtų ir pirolizės vandenį, lengvus naftos produktus ir dervą. Frakcija yra atšaldoma ir gražinama atgal į ciklą į šaldomą skruberį.

Siekiant šio išradimo tikslo, susidaro dideli šilumos ir masės mainų greičiai lengvai reguliuojamoje ir žemos temperatūros terpėje ( mažiau 600 °C), trumpa išlaikymo trukmė, dideli kaitinimo greičiai ir lengvai reaguojanti garų atmosfera, panaudojant mažus kapitalinius įdėjimus.

### Netiesioginis džiovinimas

Siekiant išradimo tikslo pagal dar vieną variantą, reakcijos įrenginys naudojamas medžiagų ir kietų dalelių netiesioginiam džiovinimui. Verdantis sluoksnis su netiesioginiu kaitinimu naudojamas džiovinant suspensijas ir kietas drėgnas daleles turinčias medžiagas, išgarinant drėgmę be tiesioginio kontakto su dūminėmis dujomis. Šis išradimo variantas labiau taikomas, kai džiovininama lengvai reaguojanti žemos rūšies akmens anglis, kuri gaunama anglies perdirbimo gamyklose. Tokiu būdu išvengiama kontakto su dūminėse dujose esančiu deguonies pertekliumi, kas stebima tiesioginio kontakto džiovyklose, todėl gauta anglis tampa piroforine ( lengvai užsiliepsnojančia). Netiesioginis džiovinimas taip pat reikalingas anglies gamybos produkcijos džiovinimui, kai reikalingas sorbentų sodrinimas arba sorbentų kompensavimas. Šis džiovinimas naudojamas ir kitais atvejais, kai reikia termiškai džiovinti kietas daleles turinčias medžiagas, kurios proceso metu negali tiesiogiai liestis su dūminėmis dujomis arba karštu oru.

### Pavyzdžiai

#### 1 pavyzdys

Natrio karbonatas pseudosuskystinamas vandens garais ir generatoriaus dū-

minėmis dujomis ir kaitinamas šilumos mainais nuo rezonansinių vamzdžių tokiomis sąlygomis :

Pirminė natrio karbonato temperatūra	26 °C
Natrio karbonato dalelių dydis	100 -1000 mikronų
Pseudosuskystinto sluoksnio garų ir dūminių dujų mišinio greitis	3 pėdos/sek. (0,9 m/s)
Pseudosuskystintų dujų temperatūra	200 °C
Kuras, paduodamas į pulsuojančią pakurą	gamtinės dujos
Temperatūra pulsuojančioje pakuroje	1374 - 1649 °C
Temperatūra rezonansiniuose vamzdžiuose	1093 - 1649 °C

Esant tokiam pulsuojančios pakuros ir verdančio sluoksnio darbo režimui, verdančio sluoksnio temperatūra palaikoma apie 649 °C. Šitoje stadijoje į verdantį sluoksnį su natrio karbonatu paduodami šarmai. Šarmai pirolizuojami ir dujofikuojami, susidaro kieti, skysti ir dujiniai produktai. Kieti produktai, nusėdę ant pseudosuskystinto natrio karbonato, buvo išskiriami iš reaktoriaus. Skystų produktų garai ir dujiniai produktai išleidžiami iš reaktoriaus ir atšaldomi, kad būtų galima atskirti susikondensavusius skystus produktus nuo dujų. Gauti šie rezultatai:

Šarmų sudėtis pagal svorį, %

Sausos medžiagos	50,6
Ištirpusios druskos, kuriose yra vandens	49,4

157

62

Šarmų sausų medžiagų cheminė sudėtis pagal svorį, %

Anglis	38,8
Vandenilis	3,9
Siera	3,4
Natris	18,7
Degūonis	35,2

Susidarę produktai, svoris % nuo šarmų sausų medžiagų

Derva	0,5
Dujos	37,5
Druskos	62,0

Cheminė susidariusių dujų sudėtis, % pagal tūrį

H <sub>2</sub>	54,95
CO	8,44
CO <sub>2</sub>	19,31
CH <sub>4</sub>	10,04
C <sub>2</sub> + angliavandeniliai	5,03
H <sub>2</sub> S	2,2

2 pavyzdys

Smėlio ir medienos mišinys pseudosuskystinamas, panaudojant garų ir kaitinami

šilumos mainais nuo rezonansinių vamzdžių šiomis sąlygomis

Pradinė smėlio ir medienos temperatūra 25 °C

158

63

Smėlio dalelių dydis	100 - 200 mikronų
Medienos dalelių dydis	100- 200 mikronų
Pseudosuskystinančių garų greitis	1,5 pėdos/ s (0,45 m/s)
Pseudosuskystintų dujų temperatūra	200 °C
Kuras, paduodamas į pulsuojančią pakurą	mediena
Temperatūra pulsuojančioje pakuroje	2600 - 2800 °F (1427 - 1538 °C)
Dujų temperatūros rezonansiniuose vamzdžiuose įėjimo iki išėjimo kryptimi diapazonas	1000 - 1800 °F (538 - 982 °C)

Esant tokiam pulsuojančios pakuros ir verdančio sluoksnio darbo režimui, verdančio sluoksnio temperatūra palaikoma apie 593°C. Mediena pirolizuojama ir dujofikuojama garais, susidaro kieti, skysti ir dujiniai produktai. Reakcijos produktai iškraunami iš reaktoriaus kartu su garų pertekliumi ir atšaldomi. Gauti tokie rezultatai:

Medienos cheminė sudėtis nuo žaliavos kiekio, svoris %

Anglis	43,52
Vandenilis	5,62
Drėgmė	7,94
Deguonis	42,15
Pelenai	0,78

Susidarę produktai, svoris %

Vidutinė temperatūra reaktoriuje	583 °C	658 °C
Dujos	89,6	95,0

Medžio anglis	10,5	4,99
Derva	0,1	0,01

## Cheminė susidariusių dujų sudėtis, % pagal tūrį

H <sub>2</sub>	23,0	35,4
CO	40,5	35,5
CO <sub>2</sub>	17,8	8,6
CH <sub>4</sub>	14,1	13,9
C <sub>2</sub> + angliavandeniliai	4,6	6,6
Viso	100,0	100,0

## 3 pavyzdys

Atsparus sierai katalizatorius rafinavimui buvo pseudosuskystinamas garais ir kaitinamas nuo rezonansinių vamzdžių šilumos mainais, esant šioms sąlygoms:

Pradinė katalizatoriaus temperatūra	26 °C
Katalizatoriaus dalelių dydis	400 - 500 mikronų
Medienos dalelių dydis	100- 200 mikronų
Pseudosuskystinančių garų greitis	3 pėdos/s (0,9 m/s)
Garų temperatūra	200 °C
Kuras, paduodamas į pulsuojančią pakurą	mazutas
Temperatūra pulsuojančioje pakuroje	2500 - 3000 °F (1374 - 1649 °C)

160

65

Temperatūra rezonansiniuose  
vamzdžiuose

2100-15000 F (11482°-816° C)

Esant tokiam pulsuojančios pakuros ir verdančio sluoksnio darbo režimui, verdančio sluoksnio temperatūra palaikoma apie 9270 C Šioje stadijoje į verdantį sluoksnį su katalizatoriumi paduodamas mazutas. Mazutas rafinuojamas, reaguojant su garais, susidaro susintetintos dujos ir sunkūs naftos produktai. Skysti ir dujiniai produktai išleidžiami iš reaktoriaus ir atšaldomi, tokiu būdu susikondensavę skysčiai atskiriami nuo garų.

Mazuto sudėtis, svoris %

Virimo pradžia	445
50% distiliacija	551
Virimo pabaiga	684
Gauti produktai	svoris % pagal mazutą
Dujos	98,6
Skystis	1.5

Gautų dujų cheminė sudėtis, % pagal tūrį

H <sub>2</sub>	54,4
CO	5,1
CO <sub>2</sub>	21,3
CH <sub>4</sub>	17,5
C <sub>2</sub> + angliavandeniliai	1,7

161

66

(FIA) analizė

Aromatiniai angliavandeniliai	23,2
Olefinai	6,8
Prisotinti angliavandeniliai	70,0

4 pavyzdys

Klinčių ir popieriaus fabriko stovinčių vandenu dumblo mišinys pseudosuskystinamas garais ir netiesiogiai kaitinamas šilumos mainais nuo rezonansinių vamzdžių tokiomis sąlygomis.

Pradinė kalcio karbonato ir dumblo temperatūra	25 °C
Kalcio karbonato dalelių dydis sluoksnio medžiagoje	700 mikronų
Pseudosuskystinančių garų greitis	1,5 pėdos/s (0,45 m/s)
Pseudosuskystinančių garų temperatūra	500 °C
Kuras, paduodamas į pulsuojančią pakurą	gamtinės dujos
Temperatūra pulsuojančioje pakuroje	2200 - 2400 °F (1204 - 1316 °C)
Dujų temperatūros rezonansiniuose vamzdžiuose įėjimo iki išėjimo kryptimi diapazonas	2400 - 1300 °F (1316 - 704 °C)

Esant tokiam pulsuojančios pakuros ir verdančio sluoksnio darbo režimui, verdančio sluoksnio temperatūra palaikoma apie 692 °C. Dumblas dujojikuojamas garais, susidaro kieti, skysti ir dujiniai produktai. Gauti tokie rezultatai:

Dumblo sudėtis ( apytikriai ) , svoris %

Pelenai	19.38
---------	-------

162

67

Lakios medžiagos 66,93

Surišta anglis 13,69

Viso 100,00

Degimo šiluma (britan šil.vienet./pėdai) 7124 (16,6 MJ/kg)

Gauti produktai (svoris,%)

Sausos dujos 91,90

Medžio anglis 5,80

Derva ir tepalai 2,30

Viso 100,00

Degimo šiluma (brit. šilumos vien./

kub. pėd. normaliomis sąlygomis 412

Gautų dujų cheminė sudėtis, % pagal tūrį

H<sub>2</sub> 38,86

CO 23,34

CO<sub>2</sub> 23,27

CH<sub>4</sub> 8,13

C<sub>2</sub> + angliavandeniliai 6,40

Viso 100,00

5 pavyzdys

Anglis, pusiau tarp akmens ir borakso, pseudošuskystinama garais ir kaitinama

šilumos mainais nuo rezonansinių vamzdžių tokiomis sąlygomis:

163

68

Pradinė temperatūra	25 °C
Anglies dalelių dydis	100 - 200 mikronų
Pseudosuskystinančių garų greitis	2 pėdos/s (0,6 m/s)
Garų temperatūra	200 °C
Kuras, paduodamas į pulsuojančią pakurą	anglis
Temperatūra pulsuojančioje pakuroje	2600 - 3000 °F (1427 - 1649 °C)
Temperatūra rezonansiniame vamzdyje	2000 - 1200 °F (1093 - 689 °C)

Esant tokiam pulsuojančios pakuros ir verdančio sluoksnio darbo režimui, verdančio sluoksnio temperatūra palaikoma apie 566 °C. Anglis pirolizuojama ir dujojama, susidaro kieti, skysti ir dujiniai produktai. Reakcijos produktai iškraunami iš reaktoriaus kartu su garų pertekliumi ir atšaldomi. Gauti tokie rezultatai:

Tipiška anglies cheminė sudėtis, svoris %

Anglis	75,1
Vandenilis	5,0
Siera	1,0
Azotas	1,4
Deguonis	4,7

Gaunami produktai, svoris %

Apanglėjusi medžiaga	54,5
Dujos	27,3
Derva ir tepalai	18,1

## Gautų dujų cheminė sudėtis, % pagal tūrį

H <sub>2</sub>	38,9
CO	28,5
CO <sub>2</sub>	16,4
CH <sub>4</sub>	13,6
C <sub>2</sub> + angliavandeniliai	1,8
H <sub>2</sub> S + NH <sub>3</sub>	0,8

## 6 pavyzdys

Degūs skalūnai buvo pseudosuskystinami dūminėmis dujomis iš pulsuojančios pakuros, dirbančios mazutu, ir kaitinami šilumos mainais iš rezonansinių vamzdžių tokiomis sąlygomis:

Degiųjų skalūnų pradinė temperatūra	26 °C
Degiųjų skalūnų dalelių dydis	100 - 1000 mikronų
Pseudosuskystinimo dūminių dujų greitis	2 pėdos/s (0,6 m/s)
Dūminių dujų temperatūra	100 °C
Kuras, paduodamas į pulsuojančią pakurą	gamtinės dujos
Temperatūra pulsuojančioje pakuroje	2500 - 2900 °F (1374 - 1593 °C)
Temperatūra rezonansiniame vamzdyje	1900 - 1200 °F (1043 - 649 °C)

Esant tokiam pulsuojančios pakuros ir verdančio sluoksnio darbo režimui, verdančio sluoksnio temperatūra palaikoma apie 649 °C. Degieji skalūnai pirolizuojami ir susidaro kieti, skysti ir dujiniai produktai. Reakcijos produktai

iškraunami iš reaktoriaus ir atšaldomi, atskiriant skystus produktus. Gauti tokie rezultatai:

Degaus skalūno sudėtis, svoris %

Kerogenas	22,5
Uoliena	77,5

Gaunami produktai, svoris % pagal degantį skalūną

Dujos	2,6
Skalūninis tepalas	12,4

Gautų dujų cheminė sudėtis, % pagal tūrį

H <sub>2</sub>	37,6
CO	42,7
CO <sub>2</sub>	12,2
Angliavandeniliai	6,3
H <sub>2</sub> S + NH <sub>3</sub>	1,2

7 pavyzdys

Netiesioginio kaitinimo pulsuojanči pakura, sujungta su verdančiu sluoksniu, pakraunama siliciniu smėliu # 20, kuris naudojamas kaip balastas paduodamai akmens anglies suspensijai. Smėlio dalelės buvo didesnės negu šlapios anglies dalelės. Todėl, kai tik paduota anglies suspensija išdžiūvo, anglis buvo pašali-

nama iš slukšnio. Pseudosuskystinimo greitis sudarė maždaug 1,43 m/s.

Gerai išmaišyto slukšnio temperatūra sudarė 132 °C. Suspensijos paduodama 0,54- 0,59 kg/min. Išdžiovintas anglies produktas buvo nusodinamas pirminiame ciklone, kur mažos dalelės surenkamos rankiniu filtru. Šiluminis balansas, atsižvelgiant į nebūdingus nuostolius, pagrįstus bandymo eksperimentiniu charakteriu, parodė energijos sunaudojimą 1600 brit. šilum. vien. / pėdai išgarinto vandens.

Sąlygos, nurodytos pavyzdžiuose aukščiau, gerai iliustruoja šio išradimo įvairius proceso variantus, kuriuose susidaro dideli šilumos mainų greičiai su sklindančiomis akustinio slėgio bangomis į verdantį slukšnij reaktoriuje. Specialistai įvairiais būdais gali keisti sąlygas. Galimi įvairūs pakeitimai ir papildymai, kurie nekeičia išradimo esmės ir apimties ir kurie nurodyti žemiau pateiktuose išradimo apibrėžties punktuose.

167

1 lentelė

Srauto Nr.	38	39	40	41	42	43	44
Srauto pavadinimas	Paduodamas juodas šarvas	Gary mišinys su recirk. produktu	Gener. dujos	Kietos nuosėdų dalelės	Sumarin. generat. dujos	Generat. dujos	Kuro dujos į pulsuojančią pakurą
Komponentas mol/val.	kg/val.	kg/val.	kg/val.	kg/val.	kg/val.	kg/val.	kg/val.
O2	32,00	-	-	-	-	-	-
N2	28,01	-	-	-	-	-	-
CO	28,01	235,25	670,50	-	335,25	335,25	172,64
CO2	44,01	468,33	936,67	-	468,33	468,33	241,18
CH4	16,04	19,37	38,56	-	19,37	19,37	9,98
C2H6	30,07	4,85	9,71	-	4,85	4,85	2,49
C3H8	44,09	3,54	7,08	-	3,54	3,54	1,81
H2	2,02	76,93	153,86	-	76,93	76,93	39,60
H2S	34,09	33,16	66,32	-	33,16	33,16	-
H2O	18,02	549,66	555,02	-	277,51	277,51	81,69
C	12,01	-	-	15,42	-	-	-
Na2CO3	106,00	-	-	362,47	-	-	-
Na2S	78,04	-	-	17,01	-	-	-
Na2SO4	142,00	-	-	4,40	-	-	-
NaCl	58,45	-	-	7,48	-	-	-
šauso joudo šauno liek.	-	907,19	-	-	-	-	-
Bendra masė(kg/val.)	1353,98	1491,41	2438,06	406,87	1219,26	1219,26	549,30
Slėgis (kg/cm²)	2,11	0,70	0,49	-	0,49	0,21	0,07
Temperatūra (°C)	82,22	579,44	648,89	648,89	648,89	82,22	48,89

## 1 lentelė (tesinys)

Srauto Nr.	45	46	47	48	49	50	51
Srauto pavadinimas	Deg. oras	Dūmų dujos iš pakuros	Dūmų dujos	Dūmų dujos	Pachuodamas vanduo	Regener. paduod. vanduo	Garai
Komponentas	mol/val.	kg/val.	kg/val.	kg/val.	kg/val.	kg/val.	kg/val.
O2	32.00	140,61	140,61	140,61	-	-	-
N2	28.01	2005,87	2005,87	2005,87	-	-	-
CO	28.01	-	-	-	-	-	-
CO2	44.01	552,57	552,57	552,57	-	-	-
CH4	16.04	-	-	-	-	-	-
C2H6	30.07	-	-	-	-	-	-
C3H8	44.09	-	-	-	-	-	-
H2	2.02	-	-	-	-	-	-
H2S	34.09	-	-	-	-	-	-
H2O	18.02	465,43	465,43	465,43	554,29	554,29	543,40
C	12.01	-	-	-	-	-	-
Na2CO3	106.00	-	-	-	-	-	-
Na2S	78.04	-	-	-	-	-	-
Na2SO4	142.00	-	-	-	-	-	-
NaCl	58.45	-	-	-	-	-	-
Sauso juodo šarmo liek.	-	-	-	-	-	-	-
Bendra masė (kg/val.)	2614,59	3164,27	3164,27	3164,27	554,29	554,29	543,40
Slėgis (kg/cm <sup>2</sup> )	0,07	-	-	-	43,59	42,89	42,19
Temperatūra (°C)	25,0	704,44	360,00	148,89	25,00	243,33	254,44

## 1 lentelė (tesinys)

Srauto Nr.	52	53	54	55	56	57	58
Srauto pavad.	Techn.garai	Atid.garai	Paduod.vand.	Regen.paduod. vanduo	Atid.garai	Sumar. atidirb. garai	Atidirb. kuro dujos
Komponentas	mol/val.	kg/val.	kg/val.	kg/val.	kg/val.	kg/val.	kg/val.
O2	32.00	-	-	-	-	-	-
N2	28.01	-	-	-	-	-	-
CO	28.01	-	-	-	-	-	162,61
CO2	44.01	-	-	-	-	-	227,16
CH4	16.04	-	-	-	-	-	9,39
C2H6	30.07	-	-	-	-	-	2,36
C3H8	44.09	-	-	-	-	-	1,70
H2	2.02	-	-	-	-	-	37,33
H2S	34.09	-	-	-	-	-	-
H2O	18.02	272,16	813,29	813,29	796,96	948,01	76,88
C	12.01	-	-	-	-	-	-
Na2CO3	106.00	-	-	-	-	-	-
Na2S	78.04	-	-	-	-	-	-
Na2SO4	142.00	-	-	-	-	-	-
NaCl	58.45	-	-	-	-	-	-
Šauso juodo šamo liek.	-	-	-	-	-	-	-
Bendra masė(kg/val.)	272,16	151,05	813,29	813,29	796,96	948,01	517,43
Slėgis (kg/cm <sup>2</sup> )	42,19	42,19	43,59	42,89	42,19	42,19	0,07
Temperatūra(°C)	254,44	254,44	25,0	243,33	254,44	254,44	48,89

Išradimo apibrėžtis

1. Endoterminių reakcijų atlikimo būdas, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad apima:

a) kuro ir dujų, kurių sudėtyje yra deguonis, padavimą į pulsuojančio degimo kamerą,

b) bent dalies kuro, paduodamo į pulsuojančio degimo zoną, degimą sąlygomis, užtikrinančiomis efektyvų pradinės kuro dalies degimą, tuo pačiu susidarant degiųjų dujų srautui, kuriame yra likusi kuro dalis ir akustinio slėgio bangos ,

c) degiųjų dujų srauto iš pulsuojančio degimo zonos išleidimą į apribotą vamzdžio sienoje rezonansinę zoną, kurios viename gale yra įėjimo anga, o kitame išėjimo anga ir kuri apsupta sluoksniu kietų dalelių, kurių dydis užtikrina sluoksnio judėjimą, tuo pačiu ir maišymą,

d) bent dalies degiųjų dujų sraute rezonansinėje zonoje esančio likusio kuro sudeginimą, susidarant tuo pačiu degimo produktų srautui,

e) kietų dalelių sluoksnio atskyrimą reakcijos zonoje, kuri supa rezonansinę zoną, pastoviai maišant sluoksnyje kietas daleles,

f) akustinės bangos plitimą į reakcijos zoną, kurioje yra kietų dalelių sluoksnis

g) kietų dalelių reakcijos zonoje kaitinimą, perduodant šilumą nuo degimo produktų srauto rezonansinėje zonoje kietų dalelių sluoksniui per supančio

rezonansinę zoną vamzdžio sienelę, ir

h) vieno arba daugiau reagentų padavimą į reakcijos zoną su kietų dalelių sluoksniu ir tuo pačiu su reagentais vykdomas termocheminės reakcijas.

2. Būdas pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad kietų dalelių sluoksnį pastoviai maišo per kietų dalelių sluoksnį pratekančiomis dujomis arba garais.

3. Būdas pagal 1 arba 2 punktus, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad pulsuojančio degimo funkcionavimą paskaičiuoja taip, kad pulsacijos greičio dažnumas būtų 20 - 1500 hercų diapazone, pvz., 30-150 hercų diapazone.

4. Būdas pagal 1, 2 arba 3 punktus, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad pulsuojančio degimo funkcionavimą paskaičiuoja taip, kad reakcijos zonoje akustinis slėgio diapazonas būtų 110 -190 decibelų, pvz., 140- 150 decibelų.

5. Būdas pagal 1,2 3 arba 4 punktus, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad šilumos perdavimo koeficiento diapazonas sudarytų  $20 \times 10^6$  -  $40 \times 10^6$  brit. šilumos vienetų per valandą kvadratinei pėdai Farengeito laipsniais ( $11,4 - 22,7 \times 10^7 \text{ W} / (\text{m}^2 \text{ K})$ ).

6. Būdas pagal 1,2,3 arba 4 punktus, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad šilumos perdavimo koeficientas sudarytų bent  $40 \times 10^6$  brit. šilumos vienetų per valandą kvadratinei pėdai Farengeito laipsniais ( $22,7 \times 10^7 \text{ W} / (\text{m}^2 \text{ K})$ ).

7. Būdas pagal bet kurį iš 1-6 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad rezonan-

sinėje zonoje yra bent vienas rezonansinis vamzdis, pvz., turintis U- pavidalo alkūnę, kad įėjimas ir išėjimas iš rezonansinės zonos būtų šalia, arba yra lygiagretūs rezonansiniai vamzdžiai, kurių įėjimai nepriklausomai vienas nuo kito sujungti su pulsuojančio degimo zona, o išėjimai - su bendru kanalu.

8. Būdas pagal bet kurį aukščiau nurodytą 1-7 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad užtikrina rezonansinės zonos dalies prie įėjimo šiluminę apsaugą ekranu taip, kad išorinės ekrano dalies temperatūra būtų mažesnė negu rezonansinės zonos išorinio paviršiaus, esančio prie ekrano, temperatūra, tokiu būdu išvengiant kietų sluoksnio dalelių prie ekrano išsilydymą arba suminkštėjimą.

9. Būdas pagal bet kurį aukščiau nurodytus 1-8 punktus, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad reagentu yra anglį turinti medžiaga, parinkta iš grupių, susidedančių iš akmens anglies, biomasės, degiųjų skalūnų, naftingo ir butiminio smėlio, subbutiminės anglies, medienos, šarmų ir mazuto.

10. Įrenginys endoterminių reakcijų atlikimui, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad apima:

- kuro sudeginimo pulsuojančiu degimu priemonės, susidarant degimo produktų pulsuojančiam srautui ir slėgimui akustine banga,
- rezonansinio vamzdžio priemonės, turinčias įėjimą, susisiekiantį su pulsuojančio degimo priemone, skirta degimo produktų pulsuojančio srauto ir slėgimo akustine banga priėmimui,

- (1) reaktorių, kuriame yra kietų dalelių sluoksnis, supantis bent dalį reaktoriaus, įėjimas reagentų padavimui į kietų dalelių sluoksnį ir išėjimas dujinių produktų išleidimui iš reaktoriaus, ir

- maišymo priemonės, kurios pastoviai maišo dalelių sluoksnį, be to, maišymo priemonėje yra, pvz., dujų paskirstymo priemonė, naudojama dujų srauto paskirstymui kietų dalelių sluoksnyje.

11. Įrenginys pagal 10 punktą, b e s i s k i r i n t i s tuo, kad toliau apima:

- pirmas atskyrimo priemonės, skirtas dujinių produktų atskyrimui nuo kietų medžiagų, be to, pirmoje atskyrimo priemonėje yra įėjimas, susisiekiantis su reaktoriaus išėjimu, taip pat išėjimas separuotos kietos medžiagos pašalinimui, ir

- dalelių recirkuliacijos priemonės kietų dalelių padavimui į reaktorių, be to, recirkuliuojančių dalelių priemonėje yra išėjimas, susisiekiantis su pirmosios atskyrimo priemonės išėjimu, skirtu separuotos kietos medžiagos pašalinimui ir įėjimas, susisiekiantis su reaktoriumi, skirtas kietos medžiagos recirkuliacijai, be to, įrenginys toliau apima:

- antrasis atskyrimo priemonės, skirtas dujinio produkto kondensuojamų komponentų atskyrimui nuo nekondensuojamų, be to, antroje atskyrimo priemonėje yra įėjimas, susisiekiantis su pirmojoje atskyrimo priemonėje esančiu išėjimu dujinių produktų išleidimui, taip pat išėjimas, skirtas separuotų skysčių, kondensuotų antroje atskyrimo priemonėje, išleidimui, ir išėjimas

separuotų nekondensuojamų produktų išleidimui iš jo, ir

- dujų recirkuliacijos priemonę, skirtą nekondensuojamų komponentų recirkuliacijai į reaktorių, be to, dujų recirkuliacijos priemonėje yra įėjimas, susisiekiantis su antros atskyrimo priemonės išėjimu, skirtu separuotų nekondensuojamų komponentų pašalinimui, ir išėjimas, susisiekiantis su dujų paskirstymo priemonės įėjimu.

12. Įrenginys pagal 10 arba 11 punktus, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad pulsuojančio degimo priemonėje yra šilumos intensyvumo ribos, ir yra vožtuvas, kuris savaime reguliuoja kuro ir oro kiekio santykį minėto šilumos intensyvumo ribose, kad šilumos intensyvumas būtų  $1 \times 10^6 - 10 \times 10^6$  britaniškų šilumos vienetų per valandą kubinei pėdai diapazone ( $37,2 \times 10^6 - 372 \times 10^6$  kilodžaulių /  $m^3$ ), pavyzdžiui,  $1 \times 10^6 - 2 \times 10^6$  brit. šilum. vien. kub. pėdai ( $37,2 \times 10^6 - 74,4 \times 10^6$  kilodžaulių /  $m^3$ ), dujinių produktų degimo temperatūra jame 1800 - 3500 °F (982 - 1927 °C), pavyzdžiui, 1800 - 2000 °F (982 - 1537 °C), ir rezonansiniame vamzdyje dujų greičio diapazonas yra 300 - 1600 pėdų / minutę (91,5 - 488 m/s), pavyzdžiui, 300 - 800 pėdų / minutę (91,5 - 274 m/s).

13. Anglį turinčios medžiagos transformavimo į dujinį produktą būdas, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad apima:

a) padavimą kuro, pavyzdžiui, susidedančio iš biomasės, medžio anglies, rūgščių dujų, į pulsuojančio degimo zoną,

b) pirmos kuro dalies sudeginimą, padavus kurą į pulsuojančio degimo

zoną sąlygomis, užtikrinančiomis pirmos kuro dalies degimą, susidarant degančių dujų srautui, kuriose yra likusi dalis kuro ir akustinės bangos slėgis, be to, pulsuojančias degimas, pavyzdžiui, vyksta taip, kad pulsacijos greičio diapazonas būtų 30- 1500 hercų, ir akustinio slėgio reaktoriaus zonoje diapazonas 110- 190 decibelų,

c) degančių dujų srauto išleidimą iš pulsuojančio degimo zonos link įėjimo rezonansinės zonos, apribotos vamzdžio sienele, ir kurios ( rezonansinės zonos) viename gale yra įėjimas, kitame gale - išėjimas, ir kuri apsupta kietų dalelių sluoksniu, turinčių dydžius, tinkančius užtikrinti pratekančio per jį srauto maišymą, ir kuris apribotas reakcijos zona, supančia rezonansinę zoną,

d) degimą, bent likusios kuro dalies, esančios degančių dujų sraute rezonansinėje zonoje, tuo pačiu, susidarant degimo produktų srautui,

e) srauto tekėjimą per reakcijos zoną tokiu greičiu, kad kietos dalelės zonoje būtų pastoviai maišomos,

f) kietų dalelių sluoksnio reakcijos zonoje kaitinimą, perduodant rezonansinės zonos degimo produktų srauto šilumą per vamzdžio sienelę kietų dalelių sluoksniui, tuo pačiu nustatant degimo produktų srauto bendrą šilumos perdavimo koeficientą kietų dalelių sluoksniui, kuris bent du kartus didesnis už šilumos perdavimo koeficientą, kuris susidarytų sudegant kurui degimo zonoje be pulsuojančio degimo, be to, šilumos perdavimas yra toks, kad reakcijos zonoje temperatūra būtų 950-1600 °F diapazone (510 - 871 °C),

g) akustinės bangos slėgimo plitimo iš pulsuojančio degimo zonos į

reakcijos zoną galimybės sudarymą, ir

h) anglį turinčios medžiagos perdavimą, pavyzdžiui, biomasės, į reakcijos zoną su kietomis dalelėmis joje, kai kietos dalelės yra pastoviai maišomos, tuo pačiu sudarant galimybę anglį turinčios medžiagos endoterminei reakcijai su srautu, gaunant dujinius produktus, kurių degimo šilumos dydis 475 -575 brit, šil. vien. / pėdai<sup>3</sup>.

14. Energijos ir cheminio turinio išgavimo iš šarmų, nesusidarant lydiniui, būdas, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad apima stadijas:

a) kietų natrio druskų sluoksnio susidarymą reaktoriuje, pavyzdžiui, natrio karbonato,

b) garų purškimą į sluoksnį, kad jis pastoviai būtų maišomas, pavyzdžiui, taip paskaičiuojant, kad greičio diapazonas šiame sluoksnyje būtų 1-10 pėdų/ s, (0,3 - 3 m/s)

c) netiesioginį sluoksnio kaitinimą, pastoviai jį maišant, iš esmės, iki vienodos temperatūros, 950 -1350 <sup>0</sup>F ( 510 - 732 <sup>0</sup>C ) diapazone, pavyzdžiui, iki 1100 -1250 <sup>0</sup>F ( 593 -673 <sup>0</sup>C ), perduodant šilumą nuo dūminių vamzdžių, p nardintų į tą sluoksnį, be to, dūminiai vamzdžiai turi vienos arba kelių pulsuojančių pakurų vieną arba keletą rezonansinių vamzdžių,

d) šarmų purškimą tiesiogiai į sluoksnio karštą medžiagą,

e) šarmų reakciją su garais minėtame sluoksnyje, susidarant dujiniam produktui, kuriame yra sieros vandenilis,

f) dujinio produkto išvedimą iš reaktoriaus, ir

g) dujinio produkto praplovimą natrio karbonato tirpalu, susidarant žaliaam

šarmui ir švariam dujiniam produktui, be to, šio švaraus dujinio produkto degimo šilumos dydis yra 250 - 450 brit. šilumos vien. / pėdai<sup>3</sup> ( 9,13 -16,8 MJ / m<sup>3</sup>).

15. Energijos ir cheminio turinio išgavimo iš šarmų įrenginys, nesusidarant lydiniui, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad apima:

- a) reaktorių, kuriame yra kieto natrio karbonato sluoksnis ir išėjimas dujinio produkto išvedimui iš reaktoriaus,
- b) vandens garų padavimo į reaktorių priemonę, kuri užtikrina sluoksnio maišymą, esant paviršiaus greičiui 3-7 pėdų / s ( 0,9 -2,1 m/s) diapazone,
- c) šilumos mainų priemonę netiesioginiam maišomo sluoksnio kaitinimui, kad susidarytų vienoda temperatūra, 950 -1300 °F ( 510 -704 °C ) diapazone, be to, šioje šilumos mainų priemonėje yra viena arba daugiau dūminių vamzdžių, panardintų į minėtą sluoksnį, kuriuose ( dūminiuose vamzdžiuose ) yra vienos arba daugiau pulsuojančių pakurų rezonansiniai vamzdžiai,
- d) pakrovimo priemonę šarmų padavimui į maišomą sluoksnį reaktoriuje,
- e) priemonę dujinio produkto išleidimui iš reaktoriaus, ir
- f) praplovimo priemonę sieros vandenilio pašalinimui iš dujinio produkto, susidarant žaliam šarmui ir švarioms generatoriaus dujoms.

16. Sunkių skystų angliavandenilių dujinio rafinavimo būdas, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad apima šias stadijas:

- a) kieto katalizatoriaus sluoksnio susidarymą, kuris aktyvina garus ir pagreitina anglies dujų oksidaciją pirmame reaktoriuje,

179

83

b) vandens garų padavimą į minėtą sluoksnį, palaikant pastovų sluoksnio maišymą,

c) netiesiogiai maišomo sluoksnio kaitinimą, iš esmės, iki vienodos temperatūros, perduodant šilumą nuo dūminių vamzdžių, panardintų į tą sluoksnį, be to, dūminiai vamzdžiai turi vienos arba kelių pulsuojančių pakurų vieną arba keletą rezonansinių vamzdžių,

d) sunkių skystų angliavandenilių purškimą tiesiai į karštas kietas sluoksnio daleles, taip kad sunkūs skysti angliavandeniliai reaguoja su vandens garais katalizatoriaus sluoksnyje, susidarant po dalinio rafinavimo dujoms, kuriose yra vandenilis, lengvi angliavandeniliai ir sieros vandenilis,

e) dujų išleidimą iš reaktoriaus nepilnai išvalius, ir

b) dujų valymą garais po nepilno valymo antrame reaktoriuje, kuriame yra nejudamas kieto katalizatoriaus sluoksnis, įkaitintas iš esmės, iki vienodos temperatūros, 1650 - 1800 °F ( 875 - 982 °C ) diapazone, perduodant šilumą nuo dūminių vamzdžių, panardintų į minėtą sluoksnį, generatoriaus dujų susidarymui.

17. Sunkių skystų angliavandenilių valymo įrenginys, b e s i s k i r i a n t i s t u o, kad apima:

a) pirmą reaktorių, kuriame yra kieto katalizatoriaus sluoksnis, aktyvinantis vandens garus ir pagreitinantis anglies dujų oksidaciją,

b) vandens garų purškimo priemonę, paduodant garus į pirmą reaktorių ir pastoviai maišant minėtą sluoksnį,

c) šilumos perdavimo priemonę netiesiogiai maišomo sluoksnio kaitinimui, be to, šilumos perdavimo priemonėje yra viena arba daugiau dūminių vamzdžių, panardintų į tą sluoksnį, be to, dūminiai vamzdžiai, pavyzdžiui, turi vienos arba kelių pulsuojančių pakurų vieną arba keletą rezonansinių vamzdžių,

d) pakrovimo priemonę sunkių skystų angliavandenilių purškimui ant maišomų kietų dalelių sluoksnio pirmame reaktoriuje,

e) priemonę dujų išleidimui iš pirmo reaktoriaus po nepilno valymo, ir

f) priemonę antro reaktoriaus dujų valymui garais po nepilno dujų apvalymo, susidarant generatoriaus dujoms, be to, antro reaktoriaus priemonėje yra kieto katalizatoriaus nejudamas sluoksnis, įkaitintas iki vienodos temperatūros, 1650 - 1800 °F ( 897 - 982 °C ) diapazone, perduodant šilumą nuo dūminių vamzdžių, panardintų į tą sluoksnį.

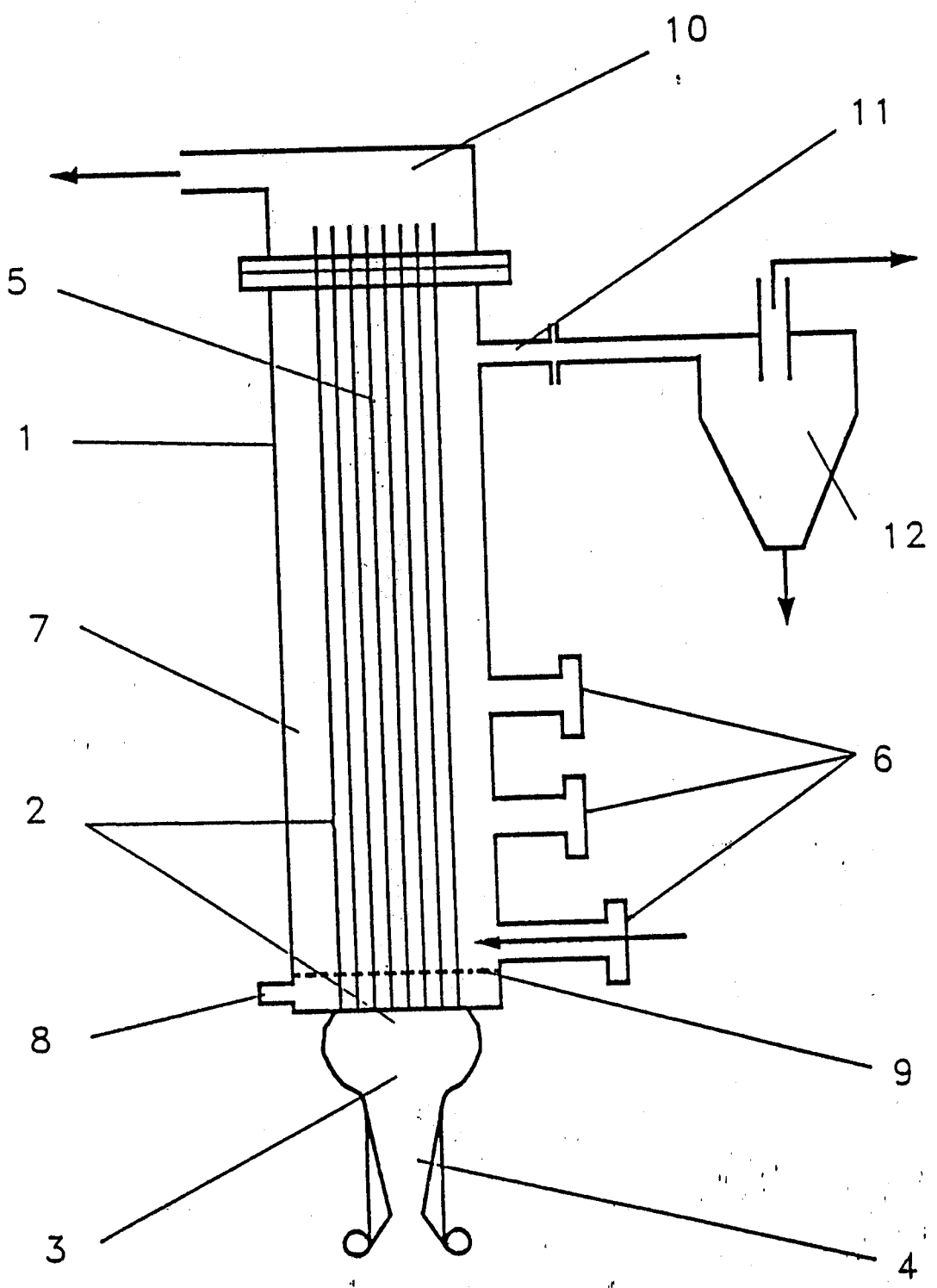


FIG. 1

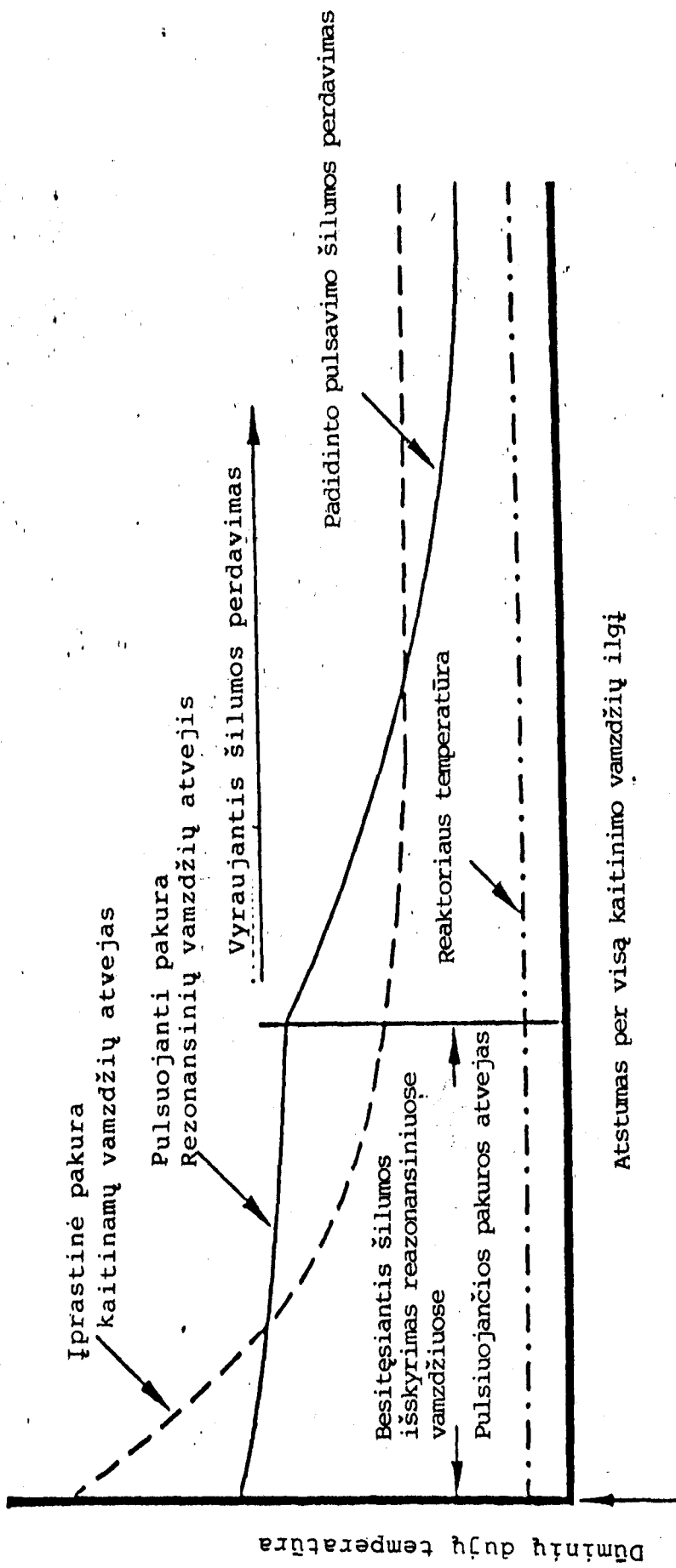


FIG. 2

Įėjimas į kaitinimo vamzdį

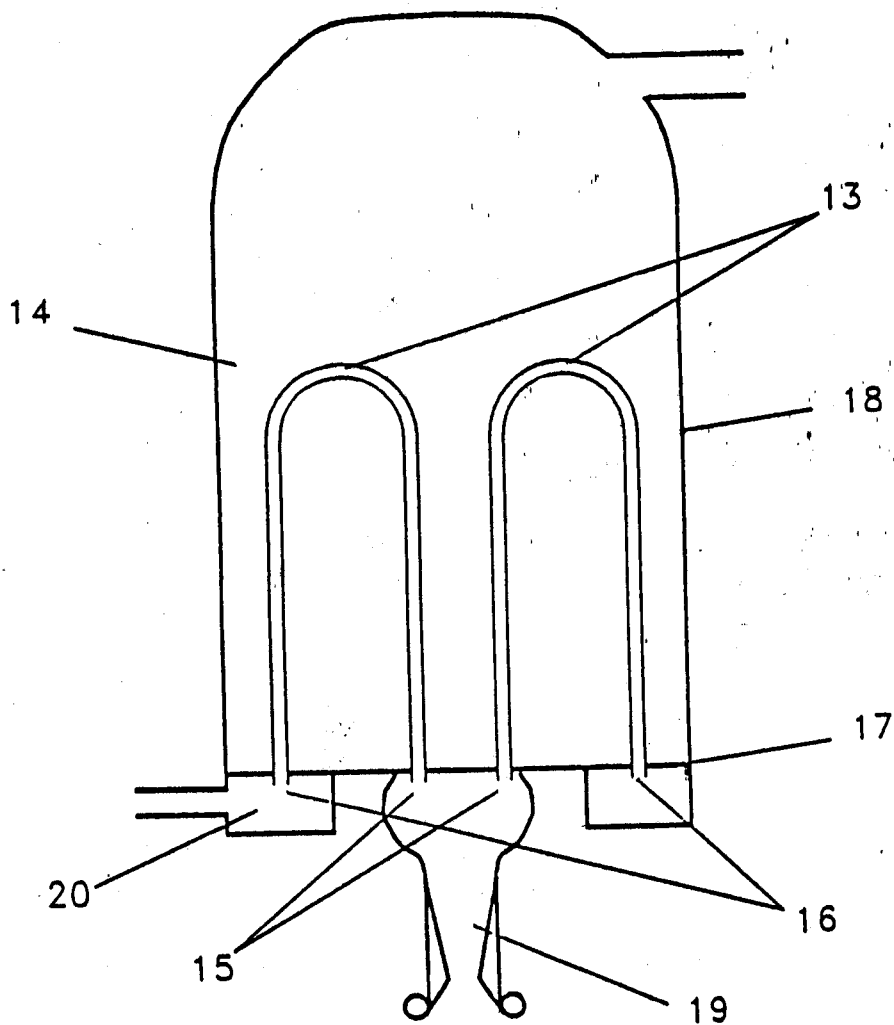


FIG. 3

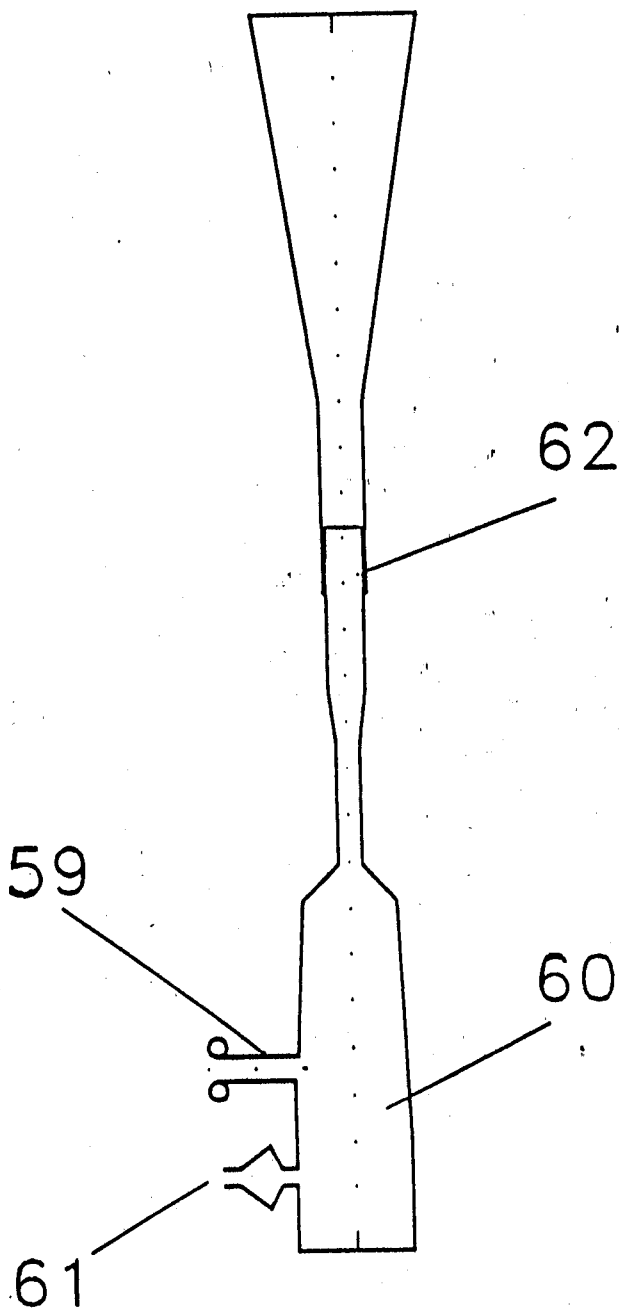


FIG. 4

185

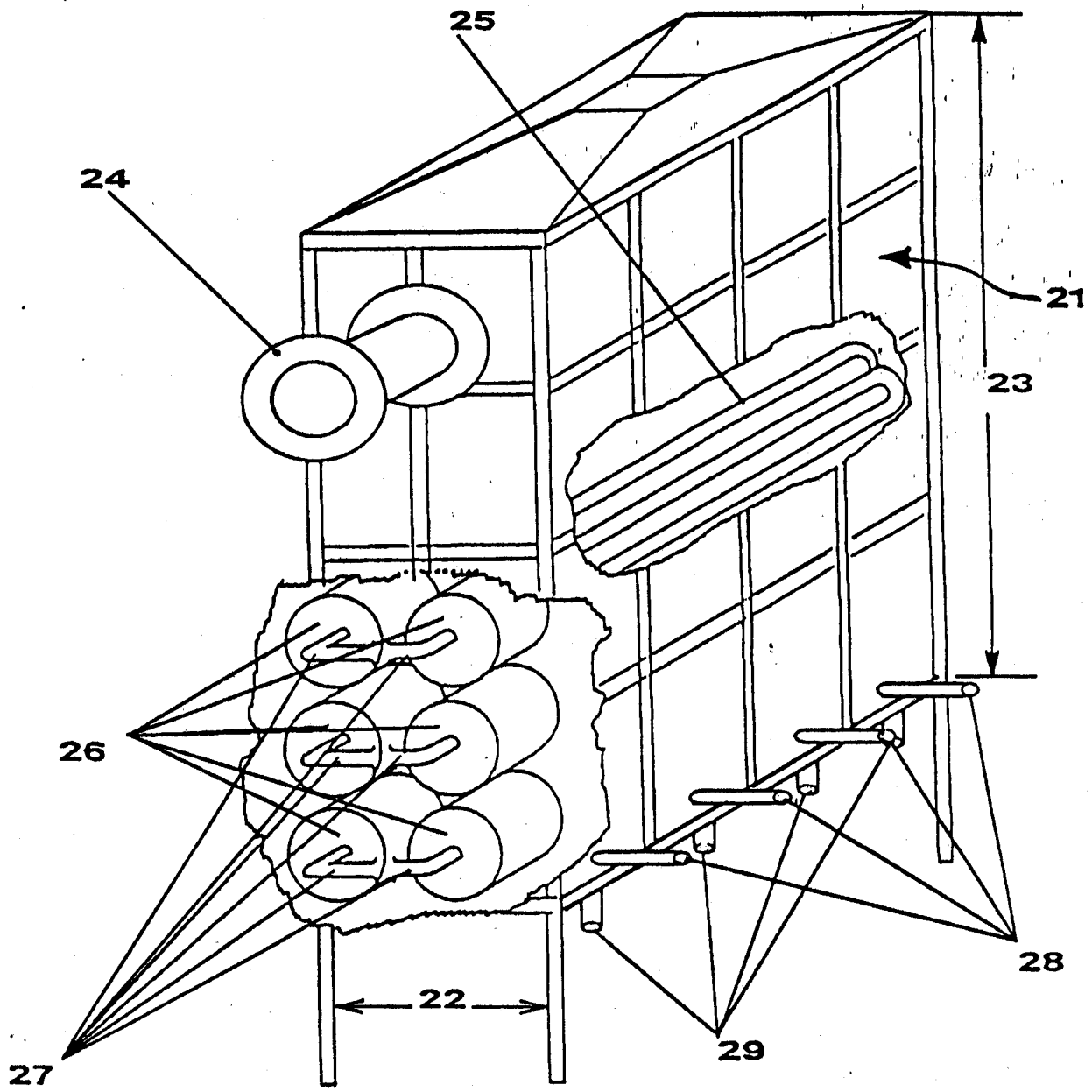


FIG. 5

