



(21) Numer zgłoszenia: **434735**

(22) Data zgłoszenia: **21.07.2020**

(51) Int.Cl.

C10B 3/00 (2006.01)

C10B 7/02 (2006.01)

C10B 53/00 (2006.01)

(54) **Reaktor i sposób do przeprowadzania pirolizy materiałów wybranych z grupy składającej się ze zrębków, drewna podkładowego, odpadów drzewnych, odpadów leśnych, osadów ściekowych, koksu naftowego, komunalnych odpadów stałych (MSW), paliw pochodzących z odpadów (RDF) lub dowolnej kombinacji paliw z biomasy i oczyszczania gazu pirolitycznego**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

24.01.2022 BUP 04/22

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

14.11.2022 WUP 46/22

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA GDAŃSKA, Gdańsk, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:

BOGUSŁAW KUSZ, Gdańsk, PL

BARTOSZ TRAWIŃSKI, Gdańsk, PL

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Justyna Pawłowska

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest reaktor do pirolizy odpadów przemysłowych lub komunalnych oraz do redukcji i oczyszczania gazu pirolitycznego. Przedmiotem wynalazku jest również sposób przeprowadzania redukcji i oczyszczania gazu pirolitycznego z ciężkich węglowodorów oraz cząstek węgla.

Recykling, ekonomiczne i ekologiczne wykorzystanie powstałych i wytworzonych odpadów użytkowych lub komunalnych jest istotnym wyzwaniem gospodarek wielu krajów. Jednym ze sposobów racjonalnego przetworzenia odpadów komunalnych i przemysłowych jest przeprowadzenie pirolizy w wysokich temperaturach.

Paliwowy materiał zwany wsadem zawiera materiał wybrany z grupy składającej się z zrębków, drewna podkładowego, odpadów drzewnych, odpadów leśnych, osadów ściekowych, komunalnych odpadów stałych (MSW), paliwo pochodzące z odpadów (RDF, ang. Refuse Derived Fuel) lub dowolna kombinacja paliw z biomasy.

Proces pirolizy wymaga podgrzania wsadu powyżej temperatury 200°C w wyniku, czego uzyskuje się m.in. gaz pirolityczny ze znaczną zawartością wodoru, metanu i innych cięższych węglowodorów. Innymi składnikami gazu są także m.in. tlenek węgla i ditlenek węgla, azot i jego związki oraz siarkowodór.

Ubočnym produktem pirolizy jest karbonizat zawierający głównie węgiel.

Uzyskany w wyniku pirolizy gaz może być spożytkowany do produkcji ciepła, energii elektrycznej albo może być źródłem wodoru.

Aby uzyskany w wyniku pirolizy gaz, aby miał być spożytkowany, jako źródło wodoru lub do produkcji energii elektrycznej poprzez np. poprzez spalanie w silniku napędzającym generator prądu elektrycznego, powinien być oczyszczony z ciężkich węglowodorów, szkodliwych gazów oraz cząstek węgla. Problemem jest oczyszczanie otrzymanego bezpośrednio z komory reaktora do pirolizy gazu pirolitycznego z ciężkich węglowodorów, smół i gazów uznawanych za materiały odpadowe oraz z cząstek węgla.

Obecnie, bardzo często do oczyszczania gazu pirolitycznego stosowane są zewnętrzne układy do oczyszczania gazu wykorzystujące procesy rozkładu wieloatomowych cząstek w wysokich temperaturach, wymrażanie w niskich temperaturach lub/i oczyszczanie poprzez użycie różnego rodzaju filtrów. Metody te są kosztowne oraz wymagają dodatkowych urządzeń, co w efekcie zwiększa koszt zyskiwania gazu pirolitycznego i zmniejsza wydajność energetyczną procesu pirolizy. Istnieją też rozwiązania, w których gaz pirolityczny przechodzi przez złożę karbonizatu wewnątrz reaktora gdzie ulega redukcji. W celu zwiększenia całkowitej wydajności procesu pirolizy wsadu reaktor do pirolizy często zawiera komorę do częściowego utlenienia wsadu lub karbonizatu za pomocą podawanego z zewnątrz utleniacza w postaci czystego powietrza lub czystego tlenu. Zastosowanie powietrza powoduje zanieczyszczenie otrzymanego gazu znaczącą ilością azotu natomiast zastosowanie czystego tlenu obniża całkowity energetyczny zysk w wydajności procesu i stwarza dodatkowe niebezpieczeństwo.

Znane reaktory do pirolizy wytwarzają znaczną ilość smoły w gazowym produkcie i nie zapewniają spójnego przepływu i jakości gazu syntezowego.

W szczególności ze zgłoszenia opisu patentowego CZ 295171 znany jest trójstrefowy reaktor do pirolizy biomasy zawierający pionowo zorientowane, zagnieżdżone cylindryczne zbiorniki, które określają odpowiednio komorę suszącą, komorę destylacyjną i komorę redukcji i spalania. Reaktor jest skonfigurowany w taki sposób, że mieszanina gazów wytwarzana w komorze suszącej komory i komorze destylacyjnej może być wprowadzana do połączonej komory redukcji w celu dodatkowego spalania gazu. Reaktor jest skomplikowany w budowie a jego części poddane wysokiej temperaturze ulegają szybkiej degradacji.

Ze zgłoszenie opisu patentowego WO 2015/090251 znane jest urządzenie do wielostopniowego zgazowania paliwa węglowego zawierające hermetycznie zamknięte pionowe naczynie, które jest wyposażone w izolację. Wewnątrz pionowej komory reaktora znajduje się komora pirolizy przystosowana do napełniania paliwem z góry. Poniżej komory pirolizy znajduje się komora częściowego utlenienia produktu pirolizy i komora redukcji chemicznej gazu pirolitycznego. Reaktor jest bardzo skomplikowany w budowie, wykorzystuje trudny do sterowania proces częściowego utlenienia produktu pirolizy a w przypadku utleniacza w postaci powietrza wprowadza do gazu pirolitycznego znaczne ilości azotu.

Ze zgłoszenia wzoru użytkowego CZ 28354 znany jest reaktor z pionowo ustawioną komorą pirolizy, komorą utleniania i komorą redukcji, w której to na dolnej płycie komory redukcji znajduje się

homogenizator. Jednak układ nie zapewnia jednolitej głębokości złoża karbonizatu, co prowadzi do niepożądanych rezultatów.

Ze zgłoszenia opisu patentowego CN 109906264 znany jest strefowy pionowy reaktor ze strefą pirolizy, strefą częściowego utleniania zawierającą element z wieloma ułożonymi pod kątem otworami wentylacyjnymi oraz strefą redukcji zawierającą ukośną perforowaną dolną płytę, na której znajduje się warstwa karbonizatu redukująca przechodzący przez nią gaz pirolityczny. Układ nie zapewnia ciągłej wymiany karbonizatu, co wpływa na ciągłość pracy i jakość gazu pirolitycznego.

Z opisu patentowego DE 102005026764 znany jest reaktor do pirolizy z ogrzewaniem komory reakcyjnej elektrycznym lub gazowym, przy czym ogrzewanie powoduje gazyfikację stałego karbonizatu. Nie ma możliwości redukcji i oczyszczania gazu pirolitycznego wewnątrz komory reaktora.

Ze zgłoszenia opisu patentowego US2002095866 znany jest reaktor kolumnowy z rozkładem smół i olei w gorącej warstwie karbonizatu. Generowane gazy są wyprowadzane z reaktora z obszaru wysokiej temperatury – nie zachodzi ich filtrowanie w trakcie przepływu przez kolumnę karbonizatu o coraz niższej temperaturze. Ogrzewanie układu następuje przez wdmuchiwanie pary lub gazu utleniającego i spalanie.

Ze zgłoszenia opisu patentowego WO03018720 znana jest metoda usuwania popiołów z gazyfikatora. Metoda polega na dozowaniu gorącego popiołu z dna reaktora przez zawór do dolnego zbiornika, w którym popiół miesza się z wodą i przez to ochładza.

Ze zgłoszenia opisu patentowego DE10216338 znany jest reaktor sekwencyjny. Jest w nim 5 stref (półek), przez które przesypuje się materiał: parowanie wody (150°C), piroliza (500°C) koksowanie (800°), kraking węglowodorów, do CO i H₂ (> 1000°C), utlenianie (gazowanie pozostałego węgla). Przesypywanie między półkami (rusztami) jest wspomagane mieszadłem. Brak jest informacji o oczyszczaniu filtrowaniu gazu przez karbonizat.

Ze zgłoszenia opisu patentowego US2010050515 znany jest ciśnieniowo szczelny, kolumnowy gazyfikator węgla, skonstruowany z cegły zapewniającej izolację termiczną. Reaktor jest dwustopniowy, brak informacji o oczyszczaniu gazu przez koks/popioł.

Ze zgłoszenia opisu patentowego WO2008058347 znana jest konstrukcja i sposób działania urządzenia ze strefą grzewczą polegające na tym, że materiał jest rozgrzewany w kontakcie z rozwiniętą powierzchnią ogrzaną do wysokiej temperatury (wsad przesypuje się po rozgrzanych stożkowych elementach). Układ nie jest ciśnieniowo szczelny – są wyloty ze strefy grzewczej. Ogrzewanie następuje za pomocą wdmuchiwanej pary. Maksymalna temperatura podana w zastrzeżeniach to 650°C, co nie pozwala na katalizowany rozkład węglowodorów na karbonizacie.

Ze zgłoszenia opisu patentowego WO0006671 znany jest układ do pirolizy materiału organicznego oraz gazyfikacji stałych produktów pirolizy (i smoły). Procesy pirolizy (~500°C) i gazyfikacji (~1000°C) prowadzone są w konstrukcyjnie odrębnych komorach. Występuje także trzecia komora (spalania), w której następuje spalanie powstających gazów służące ogrzewaniu pozostałych komór. Umieszczona jest wewnątrz komory pirolizy lub oddzielnie. Konstrukcja wymaga transportu masy i ciepła pomiędzy poszczególnymi komorami. W szczególności, procesy pirolizy i gazyfikacji zachodzą w oddzielnych komorach, a nie w jednej, funkcjonalnie podzielonej. Nie jest wymuszony przepływ gazu przez karbonizat – gazy z pirolizy i gazyfikacji ulatują przez wyloty. Sposób pirolizy wymaga rozdzielenia produktów gazowych i stałych i przeniesienia produktów stałych do komory gazyfikacji.

Z polskiego opisu patentowego PL221298 znana jest konstrukcja i sposób działania pionowego reaktora do pirolizy. Reaktor składa się z wewnętrznej strefy pirolizy i strefy grzewczej, która znajduje się między pionową ścianką komory pirolizy, a zewnętrzną obudową urządzenia. W strefie grzewczej są urządzenia grzewcze. Od góry wsypywany jest wsad, który za pomocą „daszka” kierowany jest w pobliże ścianek komory pirolizy (tak, że spada w dół tylko przy samych ściankach, a nie całym przekrojem komory). W trakcie spadania zachodzi piroliza. Gazy są odprowadzone przez wylot na górze, a produkty stałe przez zawór celkowy do zbiornika pod komorą pirolizy.

Ze zgłoszenia opisu patentowego US2017073582 znany jest reaktor do pirolizy działający w ten sposób, że do środka wprowadza się gaz obojętny, którego wymuszony przepływ powoduje wydostawanie się gazów z komory przez otwory w ścianie bocznej.

Niedogodnością znanych rozwiązań jest konstrukcja reaktora wymagająca pracy głównych elementów reaktora, w tym komory, w bardzo wysokich temperaturach, co komplikuje budowę oraz zmniejsza czas bezawaryjnego użytkowania.

Ponadto niedogodnością znanych rozwiązań jest brak możliwości oczyszczania powstałego gazu pirolitycznego już w komorze reaktora lub możliwość tylko częściowej redukcji i oczyszczania gazu za

pomocą warstwy karbonizatu umieszczonego na stałe wewnątrz komory reaktora. W końcowym efekcie otrzymany gaz ze znanych rozwiązań reaktorów jest zanieczyszczony i wymaga dodatkowego procesu oczyszczania a sam proces otrzymywania wysokoenergetycznego gazu z wsadu jest mało wydajny.

Podczas prac badawczych nad procesem pirolizy wsadu okazało się, że aby uzyskać gaz pirolityczny oczyszczony w maksymalnym stopniu z ciężkich węglowodorów i cząstek węgla o dużej zawartości wodoru i tlenku węgla, należy wytworzony w komorze reaktora gaz pirolityczny bezpośrednio przepuścić przez warstwę karbonizatu o ustalonej temperaturze 900–1000°C zwanej dalej warstwą karbonizatu-katalizatora przechodzącą w sposób ciągły w kolumnę karbonizatu o zmniejszającej się wraz z wysokością kolumny temperaturze do poziomu temperatury pokojowej przy wylocie oczyszczonego gazu. Podstawa kolumny do karbonizatu zanurzona jest w wodzie pełniącej rolę dodatkowego filtra gazu, czynnika chłodzącego karbonizat oraz rolę regulatora nadciśnienia gazu pirolitycznego w komorze reaktora. Prace badawcze wykazały ponadto, że w celu zapewnienia odpowiedniej temperatury wsadu i karbonizatu oraz osiągnięcia bardzo dużej wydajności energetycznej całego procesu próżnioszczelna komora reaktora powinna zawierać wewnątrz komory izolację termiczną.

Na tej podstawie opracowano wynalazek w postaci kolumnowego reaktora do przeprowadzania pirolizy materiałów wybranych z grupy składającej się ze zrębków, drewna podkładowego, odpadów drzewnych, odpadów leśnych, osadów ściekowych, koksu naftowego, komunalnych odpadów stałych (MSW), paliw pochodzących z odpadów (RDF) lub dowolnej kombinacji paliw z biomasy i oczyszczania gazu pirolitycznego, charakteryzujący się tym, że szczelna próżniowo komora reaktora o pionowej budowie, podzielona jest funkcjonalnie na cztery kompartymenty. Najwyższy – pierwszy kompartyment, w którym pod górną pokrywą komory reaktora znajduje się wykonana z mało nasiąkliwych materiałów pierwsza izolacja termiczna. Drugi kompartyment z wykonaną z mało nasiąkliwych materiałów drugą izolacją termiczną zawiera łopatkę mieszadła do mieszania wsadu. Trzeci kompartyment z drugą izolacją termiczną zawiera kolumnę grzewczą z grzałką elektryczną lub opcjonalnie z gazowym palnikiem gazu pirolitycznego oraz warstwę karbonizatu-katalizatora rozgrzanego do temperatury 900–1000°C o grubości minimum 10 cm. Czwarty kompartyment z wykonaną z mało nasiąkliwych materiałów trzecią izolacją termiczną zawiera, pod warstwą karbonizatu-katalizatora, kolumnę do karbonizatu, a także znajdujący się pod dolną pokrywą zbiornik na karbonizat, gdzie umieszczona jest też woda do chłodzenia karbonizatu i dolna część kolumny grzewczej, oraz zawiera pierwszą rurkę do wprowadzania wody i drugą rurkę do wyprowadzania wody oraz system wyprowadzania karbonizatu. Rurka wyjściowa utworzona jest jako wylot oczyszczonego gazu pirolitycznego.

Korzystnie, obracające się w osi reaktora ruchome mieszadło o nachylonych pod kątem ostrym do osi łopatkach jest tak wykonane, że możliwe jest kierowanie wsadu i karbonizatu z drugiego kompartymentu w obszar nieruchomych łopatek ogrzewających wsad kolumny grzewczej lub wymiennika ciepła w trzecim kompartymencie, tworząc warstwę karbonizatu-katalizatora w trzecim kompartymencie.

Wynalazek dotyczy również sposobu przeprowadzania pirolizy materiałów wybranych z grupy składającej się ze zrębków, drewna podkładowego, odpadów drzewnych, odpadów leśnych, osadów ściekowych, koksu naftowego, komunalnych odpadów stałych (MSW), paliw pochodzących z odpadów (RDF) lub dowolnej kombinacji paliw z biomasy i oczyszczania gazu pirolitycznego w komorze reaktora powyżej 200°C. Sposób ten charakteryzuje się według wynalazku tym, że przeprowadza się proces wewnątrz próżnioszczelnej podzielonej na cztery kompartymenty komory reaktora. Wsad jest dostarczany w sposób ciągły na powierzchnię karbonizatu-katalizatora o temperaturze 900–1000°C w trzecim kompartymencie, gdzie ulega pirolizie, a powstający karbonizat uzupełnia w sposób ciągły warstwę karbonizatu-katalizatora, a nadmiar karbonizatu z warstwy karbonizatu-katalizatora uzupełnia się w sposób ciągły znajdującym się poniżej warstwy karbonizatu-katalizatora karbonizatem z kolumny do karbonizatu w czwartym kompartymencie o temperaturze zmniejszającej wraz z wysokością kolumny. Redukcja i oczyszczenie gazu pirolitycznego przeprowadza się poprzez wymuszony nadciśnieniem przepływ gazu pirolitycznego przez warstwę karbonizatu-katalizatora i kolumnę do karbonizatu, a wyprowadzenie oczyszczonego gazu prowadzi się przez wymuszony nadciśnieniem przepływ gazu przez warstwę wody utrzymującej jednocześnie nadciśnienie gazu w komorze reaktora. Wyprowadzenie z komory reaktora nadmiaru karbonizatu następuje w dolnej części czwartego kompartymentu z podstawy kolumny do karbonizatu zanurzonego w warstwie wody.

Reaktor wyposażony jest w takie podstawowe elementy jak przedstawione osobno dla każdego kompartymentu.

W pierwszym kompartymencie jest: wlot wsadu.

W drugim kompartymencie jest: mieszadło wsadu.

W trzecim kompartmentcie jest: kolumna grzewcza wraz z wymiennikiem ciepła, półka, na której częściowo opiera się warstwa karbonizatu-katalizatora.

W czwartym kompartmentcie jest: kolumna do karbonizatu, komora z wodą chłodząco-filtrującą i utrzymującą nadciśnienie gazu pirolitycznego oraz system usuwania karbonizatu.

Komora reaktora jest ustawiona pionowo, co ułatwia przesuwanie się wsadu i karbonizatu w kierunku do jej dolnej części gdzie następuje usuwanie nadmiaru karbonizatu. Wsad, np. RDF, dostarczany jest ze zbiornika za pomocą zaworu celkowego przez pierwszy kompartment, zawierający izolację termiczną z materiałów izolacyjnych o małej nasiąkliwości, do obszaru drugiego kompartmentu gdzie następuje piroliza.

Warstwa karbonizatu-katalizatora w trzecim kompartmentcie częściowo spoczywa na kolumnie do karbonizatu oraz częściowo na półce ze stali żaroodpornej w kształcie powierzchni odwróconego stożka ściętego. Półka połączona jest z rurą ze stali żaroodpornej o średnicy równej średnicy otworu stożkowej powierzchni półki. Rura otoczona jest grzałką elektryczną służącą do ogrzewania karbonizatu i wsadu. Rura z półką w trzecim kompartmentcie przedłużona jest w obszarze czwartego kompartmentu ceramiczną rurą.

Kolumna grzewcza wykonana jest z zamkniętej u góry rury ze stali żaroodpornej, wewnątrz której znajduje się grzałka elektryczna oraz izolacja termiczna.

W innym wykonaniu kolumna grzewcza w części trzeciego kompartmentu wykonana jest z żaroodpornej stali natomiast w części czwartego kompartmentu z ceramiki.

W innym wykonaniu w kolumnie grzewczej zamiast grzałki elektrycznej umieszczony jest palnik gazowy zasilany powietrzem i wytworzonym gazem pirolitycznym, co poprawia bilans energetyczny procesu.

W innym wykonaniu, w trzecim kompartmentcie, w miejscu kolumny grzewczej umieszczony jest stalowy wymiennik ciepła w postaci od 6-ciu do 12-tu promieniście i pionowo ustawionych płyt ze stali żaroodpornej połączonych ze sobą na osi reaktora i z drugiej strony z zakończoną półką.

Proces pirolizy wsadu oraz redukcji i oczyszczania gazu pirolitycznego przebiega bazowo następująco:

- 1) w pierwszym kompartmentcie prowadzi się: kontrolowane dostarczanie wsadu do kompartmentu drugiego oraz dzięki izolacji cieplnej utrzymuje się temperaturę w drugim kompartmentcie na poziomie pozwalającym na pirolizę wsadu,
- 2) w drugim kompartmentcie prowadzi się mieszanie i pirolizę wsadu w temperaturze powyżej 200°C,
- 3) w trzecim kompartmentcie: prowadzi się redukcję i oczyszczanie gazu pirolitycznego przepływającego przez warstwę karbonizatu-katalizatora o temperaturze 900–1000°C,
- 4) w czwartym kompartmentcie prowadzi się: redukcję i oczyszczanie gazu pirolitycznego przechodzącego przez kolumnę pełniącemu jednocześnie rolę izolacji cieplnej karbonizatu, a także czyszczenie gazu w warstwie wody, zapewniającej jednocześnie utrzymanie nadciśnienia wewnątrz komory reaktora oraz prowadzi się usuwanie nadmiaru karbonizatu poza komorę reaktora.

Wytwarzany, w wyniku pirolizy wsadu w drugim kompartmentcie komory reaktora, gaz pirolityczny przepływa przez znajdującą się w trzecim kompartmentcie reaktora warstwę rozgrzanego do temperatury 900–1000°C karbonizatu-katalizatora, o grubości minimum 10 cm, oraz przyplęwa w czwartym kompartmentcie przez kolumnę do karbonizatu o temperaturze malejącej wraz z wysokością kolumny. Układ warstwa-kolumna porowatego karbonizatu składającego się głównie z węgla i innych pierwiastków w tym żelaza, wapnia lub glinu pełni rolę katalizatora procesu rozpadu cięższych węglowodórów oraz rolę filtra cząstek węgla.

Do zbiornika z usuwanym karbonizatem wprowadzana jest, utrzymywana na stałym poziomie woda krążąca w obiegu zamkniętym, nazywana, jako woda chłodząca, która chłodzi karbonizat i dolną część kolumny grzewczej, utrzymuje odpowiednie nadciśnienie w komorze reaktora oraz dodatkowo filtruje gaz pirolityczny.

W centralnej części zbiornika ciśnienie gazu jest większe od ciśnienia gazu w strefie drugiej gdzie znajduje się wylot gazu o ciśnienie hydrostatyczne wynikające z różnicy poziomu wody chłodzącej w obu strefach zbiornika. Takie rozwiązanie korzystnie prowadzi do dodatkowego oczyszczenia gazu w wodzie.

W trakcie całego procesu pirolizy wsadu utrzymywane są odpowiednie temperatury wsadu (powyżej 200°C), karbonizatu-katalizatora (900–1000°C) oraz kolumny do karbonizatu za pomocą automatycznej regulacji wykorzystującej przynajmniej dwa czujniki temperatury. Szybkość dostarczania wsadu i usuwania karbonizatu jest regulowana i wystarczająca do zapewnienia ciągłego procesu pirolizy i utrzymania warstwy karbonizatu-katalizatora na stałym poziomie nad kolumną do karbonizatu tak, aby jej grubość była nie mniejsza niż 10 cm, co zapewnia ciągłą reakcję rozpadu cięższych węglowodorów w warstwie karbonizatu w kolumnie do karbonizatu na lżejsze frakcje i wodór oraz zapewnia filtrowanie gazu z cząstek węgla.

Korzystnie jest, gdy we wsadzie jest więcej niż 5% wagowo żelaza, ponieważ żelazo zwiększa szybkość i wydajność procesu redukcji i oczyszczania. Wsad z mniejszą koncentracją żelaza korzystnie jest zmieszać z tlenkiem żelaza w postaci mikro lub nano ziaren, w ilości zapewniającej osiągnięcie koncentracji 5% wagowo żelaza wsadzie wprowadzanym do reaktora.

Wynalazek umożliwia efektywne przeprowadzenie pirolizy wsadu oraz redukcję i oczyszczanie powstałego gazu pirolitycznego. Dzięki konstrukcji kolumnowej o próżniowo szczelnej komorze reaktor jest tani w wykonaniu i mało awaryjny. Ponadto reaktor jest bezpieczny, ponieważ uszkodzenie komory reaktora oraz/lub uszkodzenie jego obudowy nie spowoduje niekontrolowanego spalania gazu pirolitycznego wewnątrz reaktora.

Wynalazek przedstawiony jest bliżej w przykładach wykonania oraz na rysunkach. Przy czym na Fig. 1 przedstawiono budowę reaktora kolumnowego w przekroju, na Fig. 2 przedstawiono budowę reaktora kolumnowego w przekroju w innym rozwiązaniu z palnikiem gazowym w kolumnie grzewczej, natomiast na Fig. 3 układ reaktora z wymiennikiem ciepła bez kolumny grzewczej.

Wynalazek opisano w przykładach i na rysunku:

- Fig. 1 Budowa reaktora kolumnowego w przekroju z grzałką elektryczną w kolumnie grzewczej.
- Fig. 2 Budowa reaktora kolumnowego w przekroju w innym rozwiązaniu z kolumną grzewczą z palnikiem gazowym.
- Fig. 3 Budowa reaktora kolumnowego w przekroju z wymiennikiem ciepła i bez kolumny grzewczej.

Przykład 1
a/Budowa.

Komora 1 reaktora wykonana ze stali nierdzewnej w kształcie rury o wymiarach: średnica 0,3 m, wysokość 1,0 m, grubość ścianki komory 1 2 mm. Komora 1 obudowana jest od zewnątrz płaszczem izolacji termicznej 2 o grubości 15 cm z wełny ceramicznej.

Komora 1 reaktora w kształcie rury zamknięta jest za pomocą dolnej pokrywy 3 i górnej pokrywy 4 oraz uszczelniona za pomocą uszczelki silikonowych 5. Obie pokrywy – dolna pokrywa 3 i górna pokrywa 4 połączone są z podstawą 6 za pomocą czterech konstrukcyjnych prętów gwintowanych 7 z nakrętkami 8.

W górnej pokrywie 4 przymocowany jest zbiornik 9 na wprowadzany wsad 10 i pierwszy zawór celkowy 11.

W pierwszym kompartymencie C1 przez kanał w pierwszej izolacji termicznej 12 z cegły ognioodpornej dozowany jest wsad 10 – tj. wprowadzany, który po ogrzaniu nazywany jest ogrzany wsadem 13 – czyli w drugim kompartymencie C2 podgrzany do temperatury powyżej 200°C ogrzany wsad 13 ulega pirolizie.

W trzecim kompartymencie C3, pod ogrzany wsadem 13, znajduje się warstwa karbonizatu-katalizatora 14 o temperaturze 900°C, umieszczona częściowo na nachylonej pod kątem minimum 30° do poziomu półce 15 z żaroodpornej stali.

W czwartym kompartymencie C4 półka 15 jest połączona ze stalową rurą 16 z żaroodpornej stali o ściance nachylonej minimum 15° do pionu. Stalową rurę 16 otacza pierwsza grzałka elektryczna 17 zasilana przez przejścia elektryczne 18 służąca do podtrzymania temperatury karbonizatu-katalizatora 14 w trzecim kompartymencie C3 na poziomie 900°C. Stalowa rura 16 ze stali żaroodpornej połączona jest z stożkową ceramiczną rurą 19, która opiera się na dolnej pokrywie 3. Warstwa karbonizatu-katalizatora 14 spoczywa częściowo na kolumnie 20 do karbonizatu zgromadzonego w ceramicznej rurze 19. Podstawa kolumny 20 do karbonizatu znajduje się w zbiorniku 21 na karbonizat, a z którego nadmiar usuwa się za pomocą drugiego zaworu celkowego 22.

W zbiorniku 21 znajduje się woda 38 chłodząca karbonizat, inaczej nazywana woda 38 do chłodzenia karbonizatu, i dolna część kolumny grzewczej 29. Woda 38 w obiegu zamkniętym jest wprowadzana pierwszą rurką 36 i wyprowadzana drugą rurką 37 i utrzymywana na stałym poziomie 5 cm powyżej dolnej krawędzi 39 drugiej rurki 37 regulując nadciśnienie gazu wewnątrz komory 1 reaktora.

Oczyszczony w kolumnie 20 do karbonizatu gaz pirolityczny jest wyprowadzany ze zbiornika 21 rurką wyjściową 40, umieszczoną powyżej poziomu wody 38 chłodzącej. Każdy kompartymen t j. pierwszy kompartymen t C1, drugi kompartymen t C2, trzeci kompartymen t C3, czwarty kompartymen t C4 ma wykonaną izolację termiczną – odpowiednio pierwsza izolacja termiczna 12 pierwszego kompartymen t u C1, druga izolacja termiczna 45 drugiego kompartymen t u C2 i trzeciego kompartymen t u C3, oraz trzecia izolacja termiczna 23 czwartego kompartymen t u C4 – wykonane z cegieł silikatowych.

Na osi reaktora znajduje się mieszadło 25, które jest obrotowe, z łopatkami 26 – w wykonaniu będące mieszającymi. Cztery symetrycznie rozłożone łopatki 26 mieszadła 25 zamocowane są pod kątem około 45° do osi mieszadła 25. Łożyska 27 w górnej pokrywie 4 umożliwiają obrót mieszadła 25 wokół pionowej osi symetrii reaktora z prędkością ok. 12 obrotów/min. Dolny koniec osi mieszadła 25 obraca się na łożysku ślizgowym 28 znajdującym się na pokrywie kolumny grzewczej 29.

Kolumnę grzewczą 29 stanowi zamknięta od góry pokrywą pionowa rura ze stali żaroodpornej ustawiona na podstawie 6 reaktora. W górnej części kolumny grzewczej 29 znajdują się zamocowane są pod kątem około 135° do osi komory 1 minimum cztery łopatki ogrzewające 30 wsad 10 i karbonizat oraz kierujące mieszany karbonizat łopatkami 26 mieszadła 25 w dół reaktora, gdzie formowana jest kolumna 20 do karbonizatu. Wewnątrz kolumny grzewczej 29, w strefie trzeciego kompartymen t u C3 i czwartego kompartymen t u C4, umieszczona jest druga grzałka elektryczna 31 z przewodem zasilającym wyprowadzonym u dołu 32 komory grzewczej 29. Wewnątrz kolumny grzewczej 29 znajduje się warstwa izolacji termicznej z wełny mineralnej.

Pomiar temperatury ogrzanego wsadu 13 w drugim kompartymencie C2 zapewnia pierwsza termopara 34, a pomiar temperatury karbonizatu-katalizatora 14 w trzecim kompartymencie C3 zapewnia druga termopara 35 – obie typu K.

Wszystkie przejścia przez pokrywy 3 i 4 reaktora są przejściami skręcanymi z zastosowaniem silikonowych uszczeltek 5. Temperatura pracy komory 1 w miejscu styku z pokrywami nie przekracza 40°C.

b/ Metodyka

Pyrolizie poddawano wsad 10 – wprowadzany w postaci peletu RDF (Refuse-Derived Fuel) o zawartości żelaza w powstającym z niego karbonizacie rzędu 5% wag.

Rozruch reaktora, w którym wstępnie znajduje się kolumna 20 do karbonizatu i warstwa karbonizatu-katalizatora 14 następuje poprzez włączenie grzałek 17 i 31 o mocy maksymalnej 1,5 kW każda. Po osiągnięciu temperatury 900°C do drugiego kompartymen t u C2 reaktora wprowadzany jest wsad 10 za pomocą pierwszego zaworu celkowego 11 – podajnika z prędkością 0,2 kg/min. Wsad 10 – wprowadzany spada na rozgrzaną do temperatury minimum 900°C warstwę karbonizatu-katalizatora 14 i jest mieszany za pomocą ramion mieszadła 25 z łopatkami 26.

W wyniku podgrzania do temperatury powyżej 200°C – ogrzany wsad 13 RDF ulega pirolizie, co prowadzi do uwolnienia gazu i powstaje karbonizat. Mieszany mieszadłem 25 karbonizat jest systematycznie przesuwany do trzeciego kompartymen t u C3 i rozgrzewany w tym kompartymencie do temperatury 900°C, po czym kierowany jest w dół reaktora. Pierwsza termopara 34 umożliwi pomiar temperatury ogrzanego wsadu 13 w drugim kompartymencie C2. Powstający w drugim kompartymencie C2 i trzecim kompartymencie C3 gaz pirolityczny na skutek nadciśnienia rzędu 3000Pa przenika przez warstwę karbonizatu-katalizatora 14 i przez kolumnę 20 do karbonizatu, przechodzi przez warstwę wody 38 chłodzącej, po czym wyprowadzany jest rurką wyjściową 40. Nadmiar karbonizatu z podstawy kolumny 20 do karbonizatu wyprowadzany jest za pomocą drugiego zaworu celkowego 22 w formie celkowego podajnika.

Aby zapewnić ciągłą pracę reaktora szybkość wytwarzania karbonizatu jest równa szybkości usuwania z reaktora.

c/ Skuteczność procesu

Gaz pirolityczny po redukcji i oczyszczaniu w karbonizacie, po schłodzeniu i ostatecznym odfiltrowaniu resztek cząstek węgla i cięższych węglowodorów w płuczce wodnej znajdującej się w zbiorniku 21 można wykorzystać np. do zasilania silnika spalinowego napędzającego generator prądu lub do uzyskania czystego wodoru. Reaktor według opisu z przykładu 1 w sposób stabilny, bezpieczny i ciągły przetwarza pelet RDF (Refuse-Derived Fuel) na gaz pirolityczny. W opisanym w przykładzie reaktorze

uzyskuje się gaz o składzie objętościowym: 45% wodoru, 48% tlenku węgla, 5% metanu oraz 2% innych gazów w tym ditlenek węgla i azot. Pozostałości płynne w tym procesie stanowią nie więcej niż 3% wagowo ilości wsadu 10.

Przykład 2

a) Budowa

Reaktor zbudowany jest jak opisano powyżej i dodatkowo jak wskazano na Fig. 2 –w kolumnie grzewczej 29, zamiast drugiej grzałki elektrycznej 31 znajduje się gazowy palnik 43 z palnikowymi rurkami 42 doprowadzającymi wytworzony w reaktorze gaz pirolityczny i powietrze przez wylot 44 spalin.

b) Metodyka

Proces dostarczania i pirolizy wsadu 10 w postaci RDF oraz podgrzewania, formowania i usuwania karbonizatu oraz oczyszczania gazu jest opisany w przykładzie 1, przy czym ogrzewanie wsadu 10 i karbonizatu następuje w wyniku spalania wytworzonego gazu pirolitycznego w powietrzu dostarczonego do palnika w kolumnie grzewczej 29. Podczas rozruchu reaktora wymagane jest chwilowe zastosowanie dodatkowego palnego gazu np. butanu z butli.

c) Skuteczność procesu

Po schłodzeniu i ostatecznym odfiltrowaniu resztek cząstek węgla i cięższych węglowodorów w płuczce wodnej znajdującej się w zbiorniku 21 na karbonizat gaz pirolityczny można wykorzystać np. do zasilania silnika spalinowego napędzającego generator prądu lub do uzyskania czystego wodoru.

W opisanym w przykładzie reaktorze uzyskuje się gaz o składzie objętościowym: 43% wodoru, 48% tlenku węgla, 7% metanu oraz 2% innych gazów w tym ditlenek węgla i azot. Pozostałości płynne w tym procesie stanowią nie więcej niż 3% wagowo ilości wsadu 10. Zastosowanie do ogrzewania gazu pirolitycznego zwiększyło całkowitą energetyczną wydajność procesu zamiany RDF na pirolityczny gaz o 10%.

Przykład 3

a) Budowa

Reaktor zbudowany jest jak opisano powyżej i dodatkowo Fig. 3 zamiast kolumny grzewczej 29 jest wymiennik ciepła 41 ogrzewany pierwszą grzałką elektryczną 17.

b) Metodyka

Proces dostarczania i pirolizy wsadu 10 w postaci RDF oraz podgrzewania, formowania i usuwania karbonizatu oraz redukcji i oczyszczania gazu jest opisany w przykładzie 1, przy czym ogrzewanie wsadu 10 i karbonizatu następuje za pomocą pierwszej grzałki elektrycznej 17 za pośrednictwem wymiennika ciepła 41.

c) Skuteczność procesu

Po schłodzeniu i ostatecznym odfiltrowaniu resztek cząstek węgla i cięższych węglowodorów w płuczce wodnej znajdującej się w dolnym zbiorniku 21 z karbonizatem gaz pirolityczny można wykorzystać np. do zasilania silnika spalinowego napędzającego generator prądu lub do uzyskania czystego wodoru.

W opisanym przykładzie reaktora uzyskuje się gaz o składzie objętościowym: 40% wodoru, 47% tlenku węgla, 7% metanu oraz 6% innych gazów w tym ditlenek węgla i azot. Pozostałości płynne w tym procesie stanowią nie więcej niż 4% wagowo ilości wsadu 10. Zastosowanie w procesie ogrzewania wsadu 10 i karbonizatu wymiennika ciepła upraszcza budowę reaktora.

Przykład 4

a) Budowa

Reaktor zbudowany jest jak opisano w przykładach 1, 2 lub 3.

b) Metodyka

Proces dostarczania i pirolizy wsadu 10 w postaci RDF oraz podgrzewania, formowania i usuwania karbonizatu oraz oczyszczania gazu jest opisany w przykładzie 1, 2 lub 3 dodatkowo proces katalitycznego oczyszczania gazu pirolitycznego wspomaga dodatkowy katalizator w postaci np. tlenku żelaza w postaci mikro- lub nanoziaren wprowadzanego razem z wsadem w ilości do 5% wagowo do wsadu 10. Podczas pracy w atmosferze redukującej powstają nano- i mikrogranule żelaza, co w znaczący sposób przyspiesza proces redukcji i oczyszczania gazu pirolitycznego.

c) Skuteczność procesu

Po schłodzeniu i ostatecznym odfiltrowaniu resztek cząstek węgla i cięższych węglowodorów w płuczce wodnej znajdującej się w zbiorniku 21 na karbonizat gaz pirolityczny można wykorzystać np. do zasilania silnika spalinowego napędzającego generator prądu lub do uzyskania czystego wodoru.

Zastosowanie dodatkowego katalizatora zwiększyło udział procentowy wodoru w gazie pirolitycznym. W opisanym w przykładzie reaktorze uzyskuje się gaz o składzie objętościowym: 50% wodoru, 47% tlenku węgla, 1% metanu oraz 2% innych gazów w tym ditlenek węgla i azot. Pozostałości płynne

w tym procesie stanowią nie więcej niż 2% wagowo ilości wsadu 10. Zastosowanie w procesie katalizatora zwiększyło całkowitą wydajność procesu zamiany RDF na pirolityczny gaz o więcej niż 12%.

Przykład 5

a) Budowa

Reaktor zbudowany jest jak opisano w przykładach 1, 2 lub 3 dodatkowo nie zawiera wody 38 w zbiorniku 21 na karbonizat, a gaz pirolityczny po oczyszczeniu w warstwie karbonizatu-katalizatora 14 i kolumnie 20 do karbonizatu jest wyprowadzany bezpośrednio przez rurkę wyjściową 40.

b) Metodyka

Proces dostarczania i pirolizy wsadu 10 w postaci RDF oraz podgrzewania, formowania i usuwania karbonizatu oraz oczyszczania gazu jest opisany w przykładzie 1, 2 lub 3 przy czym brak jest dodatkowego filtrowania gazu pirolitycznego w warstwie wody.

c) Skuteczność procesu

Brak wody w zbiorniku 21 na karbonizat upraszcza konstrukcję jednak powoduje zwiększenie ilości cięższych węglowodorów w gazie pirolitycznym o 1 punkt procentowy. W opisanym w przykładzie reaktorze uzyskuje się gaz o składzie objętościowym: 50% wodoru, 45% tlenu węgla, 1% metanu oraz 4% innych gazów w tym ditlenek węgla i azot. Pozostałości płynne w tym procesie stanowią nie więcej niż 4% wagowo ilości wsadu 10.

Ponadto brak wody powoduje ograniczenie możliwości chłodzenia karbonizatu i powoduje wzrost temperatury zbiornika 21 do poziomu ok. 80°C.

Przykład 6

a) Opis sposobu pirolizy:

Piroliza wsadu 10 – wprowadzanego – w postaci peletu RDF następuje, gdy wsad 10 osiągnie odpowiednio wysoką temperaturę wynoszącą minimum 200°C będący wówczas ogrzany wsadem 13. W reaktorze z bezpośrednią redukcją i oczyszczaniem gazu pirolitycznego, opisanym w przykładach 1–5, ogrzewanie wsadu 10 następuje, gdy wprowadzony do komory 1 w sposób kontrolowany wsad 10 spada na rozgrzaną do temperatury minimum 900°C warstwę karbonizatu i jest mieszany za pomocą ramion mieszadła 25. W wyniku podgrzania wprowadzanego wsadu 10 do ogrzanego wsadu 13 następuje jego piroliza, uwalnia się gaz i powstaje karbonizat. Mieszany mieszadłem 25 karbonizat jest przesuwany do trzeciego kompartymentu C3 i rozgrzewany w tym kompartymencie do temperatury 900–1000°C, po czym kierowany jest w dół reaktora w kierunku kolumny 20 do karbonizatu. Nadmiar karbonizatu z kolumny 20 do karbonizatu jest usuwany w zbiorniku 9 znajdującym się u dołu komory 1 reaktora. Aby zapewnić ciągłą pracę reaktora szybkość wytwarzania karbonizatu jest równa szybkości usuwania z reaktora.

b) Opis oczyszczania powstałego gazu

W szczelnie próżniowo komorze 1 reaktora powstający gaz pirolityczny osiąga stan nadciśnienia spowodowanego dużymi oporami przenikania przez porowatą warstwę karbonizatu oraz przez ciśnienie hydrostatyczne warstwy wody. Nadciśnienie gazu rzędu 3000 Pa powoduje, że gaz pirolityczny w drodze na zewnątrz reaktora musi przenikać przez porowatą warstwę karbonizatu-katalizatora 14 i kolumnę karbonizatu w trzecim kompartymencie C3 i czwartym kompartymencie C4. Karbonizat z trzeciego kompartymentu C3 i czwartego kompartymentu C4 rozgrzany do wysokiej temperatury posiada własności katalityczne sprzyjające rozpadowi cięższych węglowodorów na wodór i lżejsze węglowodory oraz sprzyjające powstaniu tlenu węgla. Podczas przenikania gazu przez karbonizat następuje redukcja i oczyszczanie gazu pirolitycznego a także filtrowanie gazu z cząstek stałych np. węgla.

Wykonanie pierwszej izolacji termicznej 12 w pierwszym kompartymencie C1 z materiałów izolacyjnych o małej nasiąkliwości powoduje, że skraplające się w pobliżu górnej pokrywy 4 gazy i smoły spływają grawitacyjnie do drugiego kompartymentu C2 gdzie ulegają rozgrzaniu, po czym poddane są dalszemu rozpadowi w warstwie karbonizatu na węglowodory proste i wodór.

Wykonanie drugiej izolacji termicznej 45 z materiałów izolacyjnych o małej nasiąkliwości w kolejnych dwóch kompartymencie powoduje, że skraplające się w dolnej części reaktora smoły wypełniają niewielką przestrzeń wolną od izolacji uszczelniając czwarty kompartyment C4. Sposób redukcji, oczyszczania i filtrowania gazu w warstwie karbonizatu-katalizatora 14 i karbonizatu w kolumnie 20 do karbonizatu oraz zastosowanie izolacji termicznej wewnątrz komory 1 wykonanej z mało nasiąkliwych materiałów powoduje, że ilość wytwarzanych ciekłych odpadów czy smół jest minimalizowana, co znacząco zwiększa wydajność procesu przetworzenia wsadu 10 na gaz.

Zastrzeżenia patentowe

1. Reaktor do przeprowadzania pirolizy materiałów wybranych z grupy składającej się ze zrębków, drewna podkładowego, odpadów drzewnych, odpadów leśnych, osadów ściekowych, koksu naftowego, komunalnych odpadów stałych (MSW), paliw pochodzących z odpadów (RDF) lub dowolnej kombinacji paliw z biomasy i oczyszczania gazu pirolitycznego, **znamienny tym**, że szczelna próżniowo komora (1) reaktora o pionowej budowie, podzielona jest funkcjonalnie na cztery kompartymenty w tym:
najwyższy pierwszy kompartyment (C1), gdzie pod górną pokrywą (4) komory (1) reaktora znajduje się wykonana z mało nasiąkliwych materiałów pierwsza izolacja termiczna (12),
zaś drugi kompartyment (C2) z wykonaną z mało nasiąkliwych materiałów drugą izolacją termiczną (45) zawiera łopatkę (26) mieszadła (25) do mieszania wsadu (10),
a trzeci kompartyment (C3) z drugą izolacją termiczną (45) zawiera kolumnę grzewczą (29) z drugą grzałką elektryczną (31) lub z gazowym palnikiem (43) gazu pirolitycznego oraz warstwę karbonizatu-katalizatora (14) rozgrzanego do temperatury 900–1000°C o grubości minimum 10 cm,
zaś czwarty kompartyment (C4) z wykonaną z mało nasiąkliwych materiałów trzecią izolacją termiczną (23) zawiera, pod warstwą karbonizatu-katalizatora (14), kolumnę (20) do karbonizatu a także znajdujący się pod dolną pokrywą (3) zbiornik (21) na karbonizat, gdzie umieszczona jest też woda (38) do chłodzenia karbonizatu i dolna część kolumny grzewczej (29), oraz zawiera pierwszą rurkę (36) do wprowadzania wody (38) i drugą rurkę (37) do wyprowadzania wody (38) oraz system wyprowadzania karbonizatu (22), zaś rurka wyjściowa (40) utworzona, jako wylot oczyszczonego gazu pirolitycznego.
2. Reaktor według zastrz. 1, **znamienny tym**, że obracające się w osi reaktora ruchome mieszadło (25) o nachyleniu pod kątem ostrym do osi łopatkach (26) jest tak wykonane, że możliwe jest kierowanie wsadu (10) i karbonizatu z drugiego kompartymentu (C2) w obszar nieruchomych łopatek (30) ogrzewających wsad (10) kolumny grzewczej (29) lub wymiennika ciepła (41) w trzecim kompartymencie (C3), tworząc warstwę karbonizatu-katalizatora (14) w trzecim kompartymencie (C3).
3. Sposób przeprowadzania pirolizy materiałów wybranych z grupy składającej się ze zrębków, drewna podkładowego, odpadów drzewnych, odpadów leśnych, osadów ściekowych, koksu naftowego, komunalnych odpadów stałych (MSW), paliw pochodzących z odpadów (RDF) lub dowolnej kombinacji paliw z biomasy i oczyszczania gazu pirolitycznego w komorze reaktora w temperaturze powyżej 200°C, **znamienny tym**, że sposób przeprowadza się wewnątrz próżnioszczelnej podzielonej na cztery kompartymenty komory (1) reaktora, zaś wsad (10) jest dostarczany w sposób ciągły na powierzchnię karbonizatu-katalizatora (14) o temperaturze 900–1000°C w trzecim kompartymencie (C3), gdzie ulega pirolizie, a powstający karbonizat uzupełnia w sposób ciągły warstwę karbonizatu-katalizatora (14), a nadmiar karbonizatu z warstwy karbonizatu-katalizatora (14) uzupełnia się w sposób ciągły znajdującym się poniżej warstwy karbonizatu-katalizatora (14) karbonizatem z kolumny (20) do karbonizatu w czwartym kompartymencie (C4) o temperaturze zmniejszającej wraz z wysokością kolumny, a ponadto redukcję i oczyszczenie gazu pirolitycznego przeprowadza się poprzez wymuszony nadciśnieniem przepływ gazu pirolitycznego przez warstwę karbonizatu-katalizatora (14) i kolumnę (2) do karbonizatu, a wyprowadzenie oczyszczonego gazu prowadzi się przez wymuszony nadciśnieniem przepływ gazu przez warstwę wody (38) utrzymującej jednocześnie nadciśnienie gazu w komorze (1) reaktora, wyprowadzenie z komory (1) reaktora nadmiaru karbonizatu następuje w dolnej części czwartego kompartymentu (C4) z podstawy kolumny (2) do karbonizatu zanurzonego w warstwie wody (38).

Rysunki

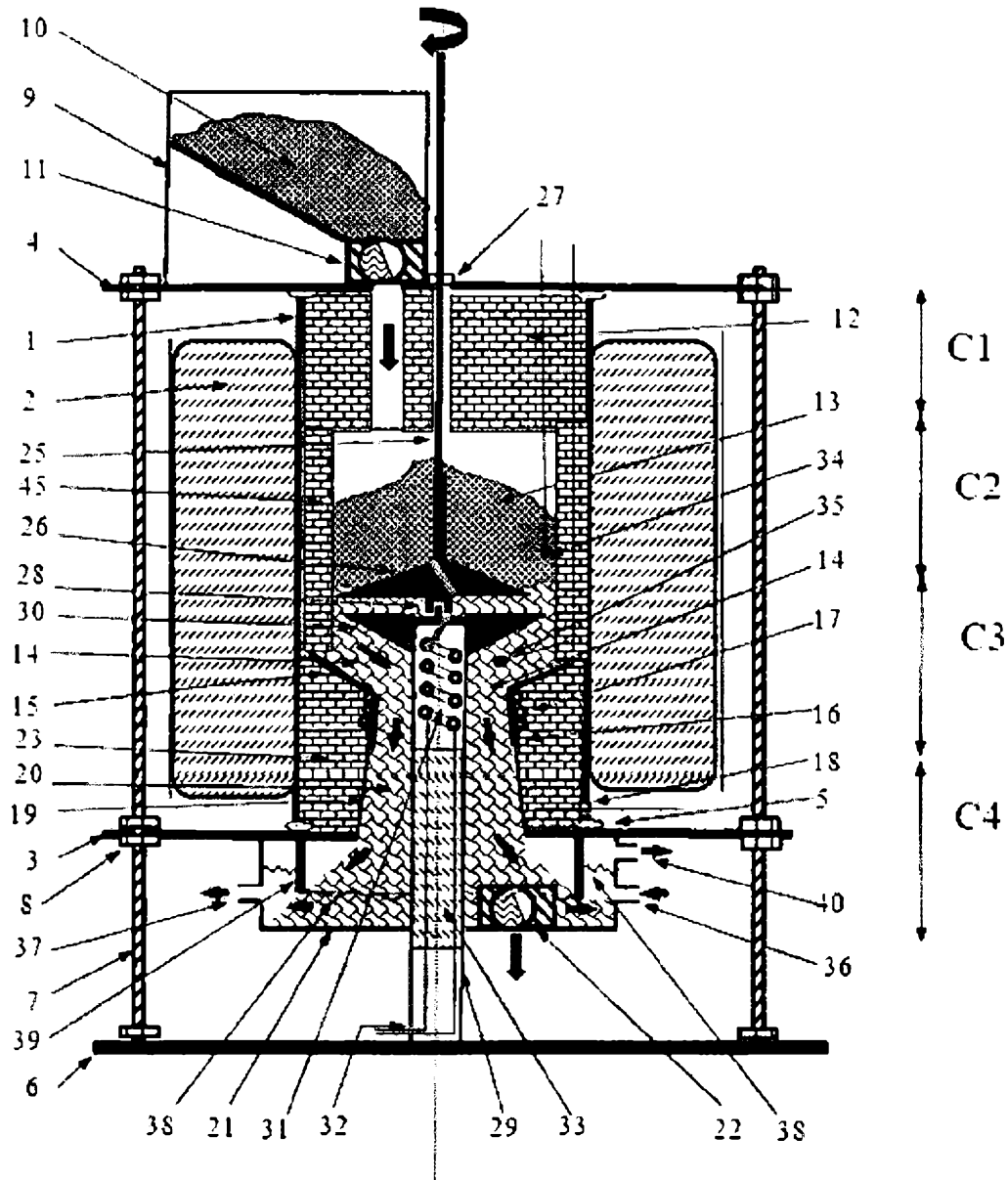


Fig.1 Budowa reaktora kolumnowego w przekroju z grzałką elektryczną w kolumnie grzewczej.

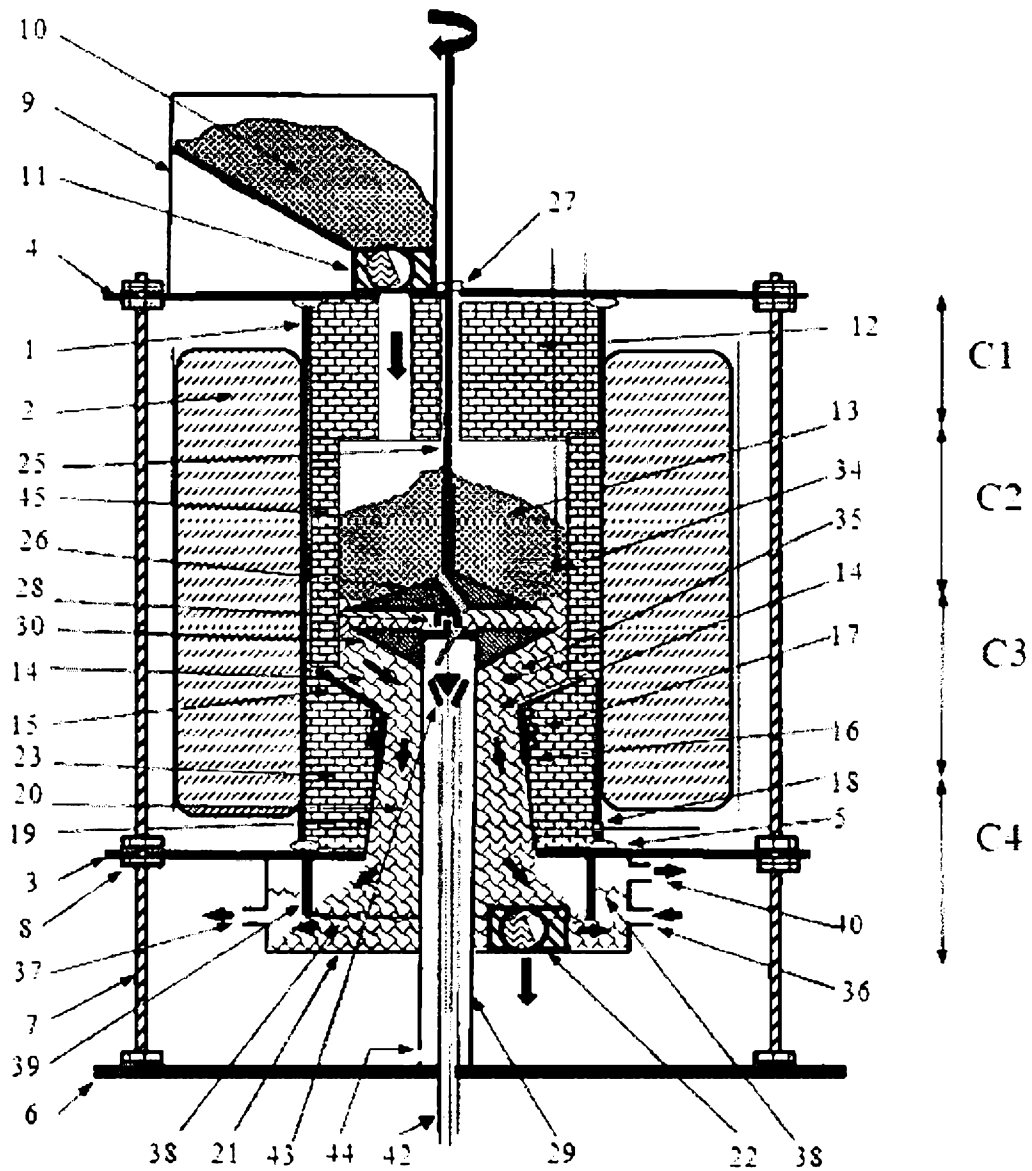


Fig.2 Budowa reaktora kolumnowego w przekroju w innym rozwiązaniu z kolumną grzewczą z palnikiem gazowym.

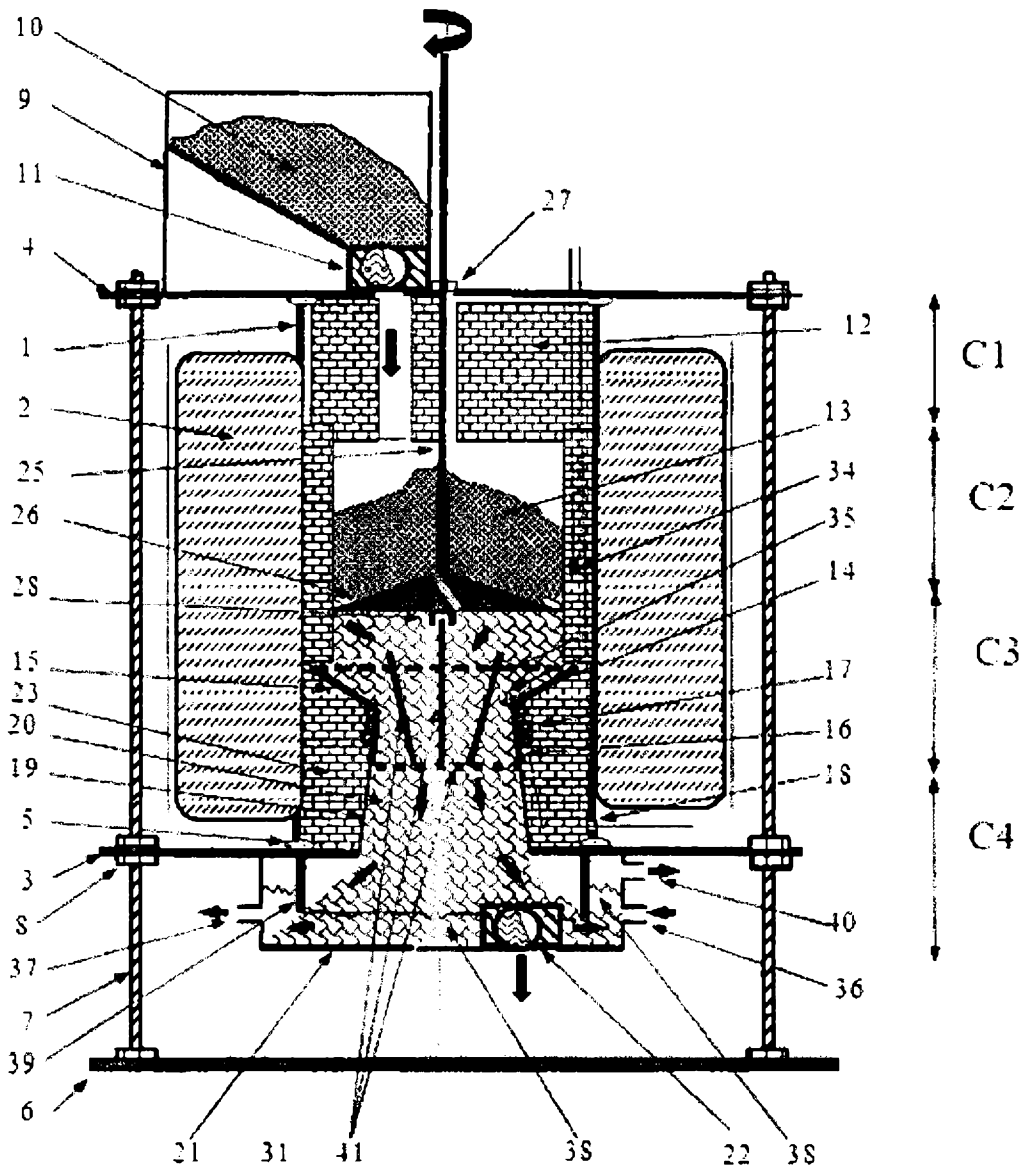


Fig.3 Budowa reaktora kolumnowego w przekroju z wymiennikiem ciepła i bez kolumny grzewczej.