

Urządzenie do usuwania zanieczyszczeń gazowych i pyłowych obecnych w gazie, w szczególności pochodzącym ze spalania paliw stałych

Przedmiotem wynalazku jest urządzenie do usuwania zanieczyszczeń gazowych i pyłowych obecnych w gazie, w szczególności pochodzącym ze spalania paliw stałych takich jak węgiel i biomasa, które znajduje zastosowanie zarówno w istniejących jak i nowoprojektowanych absorberach wieżowych mokrych technologii oczyszczania gazu.

Pod pojęciem absorber wieżowy rozumie się każdy aparat służący do przemycania gazu strumieniem cieczy w celu usunięcia z niego wybranego lub grupy składników, w którym przepływający gaz co najmniej w wybranej części płynie w górę, a krople cieczy spadają w dół. Rozwiązanie może być stosowane niezależnie od kształtu przekroju absorbera tzn. może być stosowane dla absorberów o przekroju poprzecznym okrągłym, owalnym, prostokątnym jak i nieregularnym. Warunkiem jego stosowania jest istnienie w absorberze przestrzeni, w której oczyszczany czynnik gazowy płynie w górę, a przemycające go krople cieczy spadają w dół.

Z polskiego opisu zgłoszenia wynalazku numer P.405322 jest znane urządzenie do usuwania zanieczyszczeń gazowych z gazów spalinowych, mające postać pionowego reaktora, którego górna część stanowiąca dyfuzor przyjmuje postać stożka o kącie rozwarcia mieszczącym się w przedziale  $12\pm 16^\circ$ , z umieszczoną w jego dolnej części gardzielą wlotową zanieczyszczonego gazu. Stożkowa część reaktora jest sprzężona z odpylaczem połączonym instalacją rurową z kominem odprowadzającym oczyszczone gazy spalinowe.

Z chińskiego opisu zgłoszenia patentowego numer CN 108479368 jest znane urządzenie do odsiarczania i usuwania pyłu zawierające wieżę absorpcyjną z poziomym absorberem mikrozawiruwującym, który zawiera kilka modułów mikro-

zawirujący. Moduł płytek mikrozawirujących ma kilka płytek mikrozawirujących, z których każda składa się ze stożkowej zaślepki, łopatki zawirującej i rury osłonowej. Pojedynczy zawirowacz ma budowę okrągłą, a zawirujące łopatki w liczbie od 8 do 24 są rozmieszczone wokół zaślepki pod kątem 30°- 80°. Rura osłonowa jest zamocowana na zewnątrz zawirujących łopatek. Wewnętrzna średnica rury osłonowej wynosi 30-200 mm.

Z innego chińskiego zgłoszenia patentowego numer CN 101332397 jest znane urządzenie z płytami zawirującymi zaopatrzonymi w zawirowacze o kształcie prostokąta.

W rozwiązaniach według zgłoszeń CN108479368 oraz CN101332397A przestrzenny element w postaci stożka lub walca, do którego są zamocowane skrzydła znajduje się w środkowej części elementu wytwarzającego wir.

Z kolei z opisu patentowego PL/EP1958682T3 jest znany układ do mokrego odsiarczania gazów odlotowych zawierający obudowę absorbera z oknem wlotowym gazów odlotowych, przez które są wprowadzane gazy odlotowe zawierające tlenek siarki i sadzę i pyły emitowane z układu spalania i sekcję rozpylania cieczy chłonnej znajdującą się na wyższym poziomie niż okno wlotowe gazów odlotowych oraz sekcję zbiornika recyrkulacyjnego, w której magazynuje się ciecz chłonną, pochłaniającą tlenek siarki w gazach odlotowych i która zawiera mieszadło mające śmigło do mieszania cieczy chłonnej, środki do doprowadzania powietrza, które wdmuchują powietrze utleniające w sąsiedztwo śmigła, a także środki do wymuszania krążenia cieczy chłonnej, które wyciągają ciecz chłonną ze zbiornika recyrkulacyjnego po reakcji utleniania za pomocą powietrza i reakcji zobojętniania za pomocą substancji alkalicznej i doprowadzają obiegowo ciecz chłonną do sekcji rozpylania cieczy chłonnej obudowy absorbera. Ujawniony układ charakteryzuje się tym, że środki doprowadzające powietrze są środkami do doprowadzania powietrza utleniającego do cieczy chłonnej w sekcji zbiornika recyrkulacyjnego z tyłu i z przodu wypływu cieczy za pomocą śmigła mieszadła oraz tym, że środki doprowadzające powietrze są wyposażone w środki do regulacji stosunku ilości powietrza, które ma być doprowadzone do tyłu i do przodu wypływu cieczy za pomocą śmigła mieszadła. Nadto okno wtryskowe powietrza środków doprowadzających powietrze, które ma być zainstalowane z przodu wypływu cieczy za

pomocą śmigła mieszadła, znajduje się w miejscu niższym niż przedłużona linia poziomej osi centralnej śmigła.

Z innego opisu patentowego numer PL/EP 2480309 jest znane urządzenie do odsiarczania spalin z odstojnikiem z roztworem zawiesiny, z co najmniej jednym przewodem recyrkulacyjnym, z co najmniej jedną pompą recyrkulacyjną, z dyszami rozpyłowymi i z układem odwadniania gipsu, przy czym w kierunku przepływu roztworu zawiesiny przed przewodem recyrkulacyjnym i/lub przed układem procesu odwadniania gipsu jest przewidziany co najmniej jeden kosz sitowy do filtrowania roztworu zawiesiny, przy czym na koszu sitowym do filtrowania roztworu zawiesiny jest przewidziane zadane miejsce pęknięcia, które zostaje zwolnione przy przekroczeniu siły ssania pompy, działającej na korpus sita, powodując tym samym odciążenie korpusu kosza sitowego od sił i kosz sitowy do filtrowania roztworu zawiesiny ma pokrywę, która jest umieszczona na górnej stronie kosza sitowego do filtrowania roztworu zawiesiny i zadane miejsce pęknięcia powoduje po zwolnieniu co najmniej częściowe otwarcie co najmniej części pokrywy kosza sitowego, przy czym kosz sitowy do filtrowania roztworu zawiesiny ma otwory, przy tym kosz sitowy do filtrowania roztworu zawiesiny, gdy pokrywa kosza sitowego do filtrowania roztworu zawiesiny pęknie w zadanym miejscu pęknięcia, działa nadal jak krata, która zatrzymuje masę ciał stałych, wobec czego tylko mała część prawdopodobnie raczej małych ciał stałych znajduje drogę do pompy. Kosz sitowy do filtrowania roztworu zawiesiny ma obszar o półkolistym lub półowalnym kształcie, zaś rozszerzające się stożkowo otwory są umieszczone w tym obszarze. Pokrywa kosza sitowego jest wyposażona w dwa połączenia trzymające, z których jedno, słabiej wykonane połączenie służy jako zadane miejsce pęknięcia.

Z jeszcze innego opisu patentowego o numerze PL/EP2881161 jest znane urządzenie do odsiarczania gazów spalinowych na mokro, zawierające wieżę absorpcyjną przystosowaną do odsiarczania gazów spalinowych poprzez doprowadzenie gazów spalinowych do kontaktu typu gaz-ciecz z absorbentem oraz w mechanizm rozpylający przystosowany do rozpylania absorbentu w wieży absorpcyjnej, a także mechanizm utleniający, posiadający korpus główny mechanizmu utleniającego, który zawiera rurę dostarczania tlenu i który jest przyłączony do powierzchni bocznej wieży absorpcyjnej w dolnej części wieży absorpcyjnej. Mechanizm utleniający jest przystosowany do dostarczania tlenu z korpusu głów-

nego mechanizmu utleniającego do absorbentu gromadzącego się wewnątrz wieży absorpcyjnej, za pośrednictwem rury dostarczania tlenu. Mechanizm cyrkulacyjny przystosowany do podawania absorbentu z otworu wylotowego jest uformowany w części dolnej wieży absorpcyjnej, do mechanizmu rozpylającego. Nadto urządzenie ma parę mechanizmów wyrzucania cieczy, zawierających parę dysz hydraulicznych przystosowanych do wtryskiwania cieczy odpowiednio do wieży absorpcyjnej. Ujawnione urządzenie charakteryzuje się tym, że ma wiele mechanizmów utleniających rozmieszczonych w oddaleniu od siebie w kierunku poziomym względem otworu wylotowego wieży absorpcyjnej, tak że istnieje przerwa od otworu wylotowego wieży absorpcyjnej w kierunku poziomym, a mechanizm utleniający jest umieszczony w miejscu przeciwnym do otworu wylotowego oraz że para dysz hydraulicznych jest zainstalowana naprzeciwległych powierzchniach bocznych wieży absorpcyjnej w jej części dolnej, odpowiednio w taki sposób, że otwory wyrzucania cieczy tej pary dysz hydraulicznych są umieszczone w miejscach nawzajem przeciwnych, pomiędzy mechanizmem utleniającym a otworem wylotowym wieży absorpcyjnej. Mechanizm wyrzucania cieczy zawiera rurę dostarczania cieczy przystosowaną do podawania cieczy do dyszy hydraulicznej, a także pompę dostarczania cieczy przyłączoną do rury dostarczania cieczy oraz jest skonfigurowany tak, że ciecz tłoczona przez pompę dostarczania cieczy jest podawana spoza wieży absorpcyjnej do dyszy hydraulicznej za pośrednictwem rury podawania cieczy, i tak, że utrzymywane jest ciśnienie, jakie jest wywierane na ciecz przy tłoczeniu przez pompę dostarczania cieczy. Nadto mechanizm wyrzucania cieczy jest skonfigurowany tak, aby mógł on być uruchamiany i zatrzymywany osobno i niezależnie od mechanizmu rozpylającego, od mechanizmu utleniającego, a także od mechanizmu cyrkulacyjnego.

Zgodnie z wynalazkiem urządzenie do usuwania zanieczyszczeń gazowych i pyłowych obecnych w gazie, w szczególności pochodzącym ze spalania paliw stałych stanowi przegroda umiejscowiona w całym przekroju poprzecznym urządzenia, która składa się z pojedynczych zawirowywaczy o różnych indywidualnych kształtach dopasowanych do rozkładu konstrukcji nośnej, na której są umieszczone. Powierzchnia przekroju pojedynczego zawirowywacza wynosi od 0,25 m<sup>2</sup> do 1,5 m<sup>2</sup>. Pojedynczy zawirowywacz o budowie kwadratowej ma ściany ramy zewnętrznej, z których dwie sąsiednie są zaopatrzone w kołnierze nacho-

dzące na sąsiedni zawirowywacz. We wnętrzu są umieszczone promieniście łopaty o dobieranym na etapie projektowania kącie nachylenia, przy czym kąt nachylenia łopat zawirowywacza definiowany jako kąt odchylenia łopat od płaszczyzny wyznaczonej przez dolne krawędzie ramy mieści się w zakresie od  $20^{\circ}$  do  $45^{\circ}$  i jest dobierany indywidualnie wobec wymagań dotyczących skuteczności usuwania zanieczyszczeń i dysponowanej rezerwy nadciśnienia przez system przetłaczania gazu. Pojedynczy zawirowywacz ma od 6 do 20 łopat, korzystnie ma 12 łopat. Zawirowywacz posiada również otwory służące do wprowadzania elementów mocujących go do konstrukcji nośnej oraz otwory na elementy łączące zawirowywacze pomiędzy sobą. Płaskie elementy konstrukcji zawirowywaczy posiadają otwory zapewniające ich samooczyszczanie się w czasie pracy i samoopróżnienie po wyłączeniu podawania cieczy sorbcyjnej. Zawirowywacze mogą być wykonywane jako pojedyncze lub zintegrowane w kilka sztuk, zwykle 2. W miejscach występowania przeszkód, to jest konstrukcji wewnętrznych, elementów aparatu oraz przy ścianach okrągłych, elementy dopasowujące są wykonane jako płyty perforowane lub płyty pełne zamykające przepływ.

Opisane rozwiązanie, w stosunku do znanych konstrukcji charakteryzuje się istotną poprawą skuteczności usuwania zanieczyszczeń gazowych i pyłowych poprzez integrację kilku zjawisk, z których najważniejsze to wtórna atomizacja kropeł cieczy absorpcyjnej, w wyniku procesu ich zderzania się z wysoką prędkością. Poprzez zmniejszenie wielkości kropeł, w wyniku tej wtórnej atomizacji, nastąpi zwiększenie powierzchni reakcyjnej cieczy absorpcyjnej i gazu. Nadto na zawirowywaczach następuje wprowadzenie gazu w ruch wirowy, w wielu indywidualnych na przekroju urządzenia miejscach, przy czym kierunek wirów jest w przybliżeniu w połowie przestrzeni przeciwbieżny. Uzyskana w ten sposób większa względna prędkość kropeł cieczy i molekuł gazu oraz dodatkowe wymieszanie obu strumieni skutkuje wzrostem intensywności wnikania zanieczyszczeń z fazy gazowej do fazy ciekłej. Rośnie prawdopodobieństwo zderzeń molekuł jako efekt wydłużenia drogi kontaktu oraz jednocześnie rośnie także ciśnienie dynamiczne gazu nad cieczą co poprawia wnikanie molekuł gazu do cieczy. Dodatkowo następuje zwiększenie wewnętrznego mieszania się cieczy w kropkach, co zapewnia dostępność sorbentu przy powierzchni kropli i odprowadzanie produktów reakcji do jądra kropli cieczy. Zjawisko to zapewnia utrzymanie

potencjału różnicy stężeń odpowiedzialnego za zjawisko wnikania masy. Poprzez wtórną atomizację cieczy i integrację wirów wytworzonych przez dysze (poszczególne rozpylacze) poziomów zraszania z wirami gazu wytworzonym na zawirowywaczach zostanie osiągnięty efekt zwiększenia skuteczności usuwania zanieczyszczeń przy tym samym L/G to znaczy dla tej samej wydajności pomp podających ciecz i stosunku objętości cieczy do objętości gazu. Koncepcja rozwiązania w stosunku do znanych technologii i rozwiązań alternatywnych polega na tym, że zakłada się istotną poprawę skuteczności usuwania zanieczyszczeń poprzez wprowadzenie na przegrodzie z zawirowywaczami gazu w ruch wirowy, w wielu indywidualnych punktach, przy wytworzeniu wirów przeciwbieżnych w przybliżeniu w przeliczeniu na połowę całego przekroju, co daje:

- wtórną atomizację kropli cieczy absorpcyjnej w wyniku procesu ich zderzania się z wysoką prędkością,
- zwiększenie powierzchni reakcyjnej cieczy absorpcyjnej i gazu,
- zwiększenie wewnętrznego mieszania się cieczy w kroplach, co zapewni dostępność sorbentu przy ich powierzchni i odprowadzanie produktów reakcji do jądra kropli – zjawisko to zapewnia utrzymanie potencjału wymuszającego wnikanie masy na granicy faz,
- wydłużenie drogi cząstek gazu przy jednoczesnym zwiększeniu względnej różnicy prędkości gazu i cieczy.

Poprzez wtórną atomizację cieczy i integrację wirów wytworzonych przez dysze (poszczególne rozpylacze) poziomów zraszania z wirami gazu wytworzonym na przegrodzie z zawirowywaczami został osiągnięty efekt zwiększenia skuteczności usuwania zanieczyszczeń. Rozwiązanie nie skupia się wyłącznie na wyrównaniu dystrybucji gazu w przekroju urządzenia lub wydłużeniu drogi kontaktu cieczy i gazu, ale dociera do rezerw procesu tkwiących w wielkości powierzchni reakcyjnej, w malejącym potencjale wnikania masy wskutek rosnących stężeń po stronie cieczy oraz w wzajemnej prędkości gazu i cieczy. Przykładowo samo zwiększanie wzajemnej prędkości cieczy i gazu, poprawia efekt wnikania masy, ale jednocześnie ten pozytywny efekt jest tracony na skutek skrócenia czasu kontaktu tych faz.

Przedmiot wynalazku jest pokazany w przykładzie wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia konstrukcję pojedynczego zawirowywacza o przekroju

kwadratowym, fig. 2 ukazuje wizualizację przebiegu torów cząstek gazu po przejściu przez dwa elementy zawirowywacza umieszczone obok siebie o przeciwbieżnych kierunkach skrętu łopat, natomiast fig. 3 przedstawia przykład rozmieszczenia zawirowywaczy na przekroju poprzecznym absorbera o przekroju okrągłym i średnicy 15,7 m, w którym łącznie zastosowano 328 zawirowywaczy. Z kolei na fig. 4 rysunku pokazano widok dwóch sąsiadujących zawirowywaczy połączonych razem o przeciwbieżnych kierunkach wytworzonych wirów, a fig. 5 przedstawia widok przykładowego elementu związanego z dopasowaniem do ścian i innych przeszkód.

Jak pokazano na rysunku pojedynczy zawirowywacz o budowie kwadratowej ma ściany **2**, **3**, **4** ramy zewnętrznej, z których dwie sąsiadnie są zaopatrzone w kołnierze **5**, **6** i **7** nachodzące na sąsiedni zawirowywacz. We wnętrzu są umieszczone promieniście łopaty **1** o dobieranym w fazie projektowania kącie nachylenia. Kąt nachylenia łopat zawirowywacza definiowany jako kąt odchylenia łopat od płaszczyzny wyznaczonej przez dolne krawędzie ramy mieści się w zakresie od  $20^{\circ}$  do  $45^{\circ}$  i jest dobierany indywidualnie wobec wymagań dotyczących skuteczności usuwania zanieczyszczeń i dysponowanej rezerwy nadciśnienia przez system przetłaczania gazu. Pojedynczy zawirowywacz ma od 6 do 20 łopat, korzystnie ma 12 łopat. Zawirowywacz posiada również otwory służące do wprowadzania elementów mocujących go do konstrukcji nośnej oraz otwory na elementy łączące zawirowywacze pomiędzy sobą. Płaskie elementy konstrukcji zawirowywacza posiadają otwory zapewniające jego samooczyszczanie się w czasie pracy i samoopróżnienie po wyłączeniu podawania cieczy sorbcyjnej.

Na fig. 2 rysunku zobrazowano wizualizację przebiegu torów cząstek gazu po przejściu przez dwa elementy zawirowywacza umieszczone obok siebie o przeciwbieżnych kierunkach skrętu łopat. Gaz uzyskuje składową poziomą, która powoduje, że jego przepływ w urządzeniu zmienia się z prostego, pionowego w górę, w ruch złożony odbywający się spiralnie w górę. Poprzez zmianę kąta nachylenia łopat zawirowywaczy można modelować kierunek przepływu gazu i wielkość prędkości cząstek gazu. Poszczególne zawirowywacze są rozmieszczone na całym przekroju poprzecznym absorbera, co pokazano na fig. 3 rysunku. Po przejściu przez zawirowywacz prędkość pozioma gazu jest stopniowo wytracana i ruch odbywa się po zanikającej spirali. Z kolei zwiększenie kąta nachylenia łopat zawirowywacza zmniejsza prędkość gazu w rejonie półki. Mniejsza prędkość

gazu jest z kolei powiązana ze zmniejszeniem intensywności wnikania masy z fazy gazowej do cieczy. Za mały kąt nachylenia łopat spowoduje powstanie zbyt dużej straty ciśnienia na drodze gazu oraz zbyt małych prześwitów (przestrzeni wolnego przelotu) grożących zatkaniem się przegrody lub jej zalaniem w czasie eksploatacji. Zbyt duży kąt nachylenia łopat nie wniesie oczekiwanej dodatkowej skuteczności usuwania zanieczyszczenia gazu. Kierunki wytworzonych wirów są przeciwbieżne w przybliżeniu w połowie wszystkich zawirowywaczy.  $N=40-60$  % zawirowywaczy ma kierunek lewoskrętny, a  $100-N$  % ma kierunek prawoskrętny. W miejscach występowania przeszkód, tj. konstrukcji wewnętrznych, elementów aparatu oraz przy ścianach okrągłych elementy dopasowujące są wykonane jako płyty perforowane lub płyty pełne zamykające przepływ, co pokazano na fig. 5 rysunku. Materiał, z którego wykonane są zawirowywacze jest dopasowany do oddziaływania medium pod względem odporności chemicznej, abrazyjnej i mechanicznej. Elementy zawirowywaczy są wykonane ze stali specjalnych, stopów lub tworzyw sztucznych. Wytrzymałość mechaniczna musi być wyznaczona w oparciu o oddziaływanie różnicy ciśnienia, ale także obciążenie medium w czasie pracy, obciążenie awaryjne (stan zatkany) lub specjalne wymagania użytkowania związane z wykorzystaniem elementów (powierzchni) półki zawirowywaczy jako podstawy do wykonania deskowania remontowego.