



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(21) Numer zgłoszenia: **413674**

(22) Data zgłoszenia: **26.08.2015**

(51) Int.Cl.

B01D 53/96 (2006.01)

B01D 53/62 (2006.01)

B01D 53/14 (2006.01)

(54)

**Sposób regeneracji roztworów absorpcyjnych alkanoloamin
w procesie usuwania ditlenku węgla z gazów spalinowych**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

27.02.2017 BUP 05/17

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

30.11.2018 WUP 11/18

(73) Uprawniony z patentu:

**INSTYTUT CIĘŻKIEJ SYNTEZY ORGANICZNEJ
BLACHOWNIA, Kędzierzyn-Koźle, PL
INSTYTUT CHEMICZNEJ PRZERÓBKI WĘGLA, Zabrze, PL
TAURON POLSKA ENERGIA SPÓŁKA AKCYJNA,
Katowice, PL
TAURON WYTWARZANIE SPÓŁKA AKCYJNA,
Jaworzno, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**ZBIGNIEW BUDNER, Kędzierzyn-Koźle, PL
ALEKSANDER KRÓTKI, Olza, PL
TOMASZ ŁADAK, Kędzierzyn-Koźle, PL
JÓZEF POPOWICZ, Gliwice, PL
ALEKSANDER SOBOLEWSKI, Zabrze, PL
MAREK ŚCIAŻKO, Katowice, PL
ADAM TATARCZUK, Zabrze, PL
JANUSZ TCHÓRZ, Orzesze, PL
STANISŁAW TOKARSKI, Jaworzno, PL
LUCYNA WIĘCŁAW-SOLNY, Chorzów, PL
JAN WÓJCIK, Zalesie Śląskie, PL**

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Łukasz Korga

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób regeneracji roztworów absorpcyjnych alkanoloamin w procesie usuwania ditlenku węgla z gazów spalinowych.

W technologiach i instalacjach CCS usuwania ditlenku węgla z gazów spalinowych, bloków energetycznych średniej i dużej mocy, w pracujących obecnie instalacjach w Świecie, w skali demonstracyjnej i powiązanych z sekwestracją ciekłego ditlenku węgla, stosowane są obecnie najczęściej technologie myć aminowych z zastosowaniem wodnych roztworów alkanoloamin, głównie monoetanolaminy, metyldietanolaminy i piperazyny oraz dietanolaminy.

Wadą stosowanych obecnie rozwiązań technologicznych jest wysokie zużycie energii cieplnej, związane z regeneracją termiczną nasyconych roztworów alkanoloamin, powodujące obniżenie mocy energetycznej bloków o 20 ÷ 30%, co przy obecnie obowiązujących uregulowaniach prawnych i międzynarodowych przekreśla praktycznie sensowność stosowania tych technologii w większej skali.

Spośród znanych technologii myć aminowych absorpcji ditlenku węgla w roztworach alkanoloamin rozróżnia się schematy technologiczne instalacji z jednostrumieniowymi przepływami roztworów absorpcyjnych, polegające na tym, że na szczyt kolumny absorpcyjnej doprowadzany jest jeden strumień zregenerowanego roztworu absorpcyjnego. Nasycony ditlenkiem węgla roztwór absorpcyjny odprowadzany jest z dołu kolumny absorpcyjnej, jest ogrzewany w wyspie głównego wymiennika ciepła i jest wprowadzany na szczyt kolumny regeneracyjnej, gdzie desorpcję ditlenku węgla wykonuje się przy pomocy pary wodnej wytworzonej w wyparce. Mieszanina parowo-gazowa pary wodnej i ditlenku węgla odprowadzana jest ze szczytu regeneratora, para jest skraplana i zwracana do procesu, ditlenek węgla odprowadzany jest z instalacji. Zregenerowany roztwór absorpcyjny tłoczony jest pompą przez wyspę głównego wymiennika ciepła gdzie oddaje ciepło nasyconemu roztworowi absorpcyjnemu, jest następnie schładzany i wprowadzany na szczyt kolumny absorpcyjnej.

Rozwój technik wymiany ciepła pozwala obecnie uzyskiwać „niedorekuperację” ciepła na tak zwanym „zimnym końcu” wyspy wymienników ciepła na poziomie 5 ÷ 8 K.

Znane są rozwiązania gdzie niewielki strumień nasyconego roztworu absorpcyjnego omija wyspę wymienników ciepła i jest kierowany na szczyt kolumny regeneracyjnej celem wykroplenia pewnej ilości pary wodnej ze strumienia desorbowanego ditlenku węgla.

Znane są klasyczne rozwiązania technologiczne schematu usuwania ditlenku węgla głównie z gazów syntezowych do syntezy metanolu lub amoniaku, gdzie kolumna absorpcyjna jest zasilana na szczycie roztworem absorpcyjnym głęboko zregenerowanym, a w środkowej części roztworem średnio zregenerowanym. Nasycony roztwór absorpcyjny dzieli się na trzy strumienie, pierwszy strumień kieruje się z pominięciem wyspy głównych wymienników ciepła na szczyt regeneratora, drugi strumień ogrzewa się w wyspie wymienników ciepła i kieruje się do górnej części kolumny regeneracyjnej, trzeci strumień ogrzewa się i kieruje do środkowej części kolumny regeneracyjnej.

Ze środkowej części kolumny regeneracyjnej odbiera się roztwór częściowo regenerowany, z dolnej części kolumny regeneracyjnej odbiera się roztwór głęboko regenerowany. Obydwa strumienie schładza się w wyspie wymienników ciepła i kieruje się do różnych punktów kolumny absorpcyjnej, roztwór głęboko zregenerowany na szczyt kolumny absorpcyjnej, roztwór średnio regenerowany do środkowej części kolumny absorpcyjnej. Wskutek różnych wartości różniczkowych i całkowych ciepła absorpcji ditlenku węgla, zmniejszających się wraz ze wzrostem stopnia karbonizacji roztworu absorpcyjnego, zmniejsza się istotnie zużycie ciepła związane z regeneracją roztworu, zwłaszcza w instalacjach usuwania ditlenku węgla z gazów syntezowych. W przypadku usuwania ditlenku węgla z gazów spalinowych zmniejszenie zużycia energii cieplnej jest mniejsze.

Patent US2012174782 opisuje metodę oczyszczania gazów spalinowych od CO₂, z wykorzystaniem aparatury o zmniejszonych gabarytach. Podstawą wynalazku jest nowe rozwiązanie aparaturowe desorbera, gdzie aparat wyposażony jest w obrotowe dyski, w których znajdują się poziome kanaliki. Nasycona ciecz absorpcyjna podawana jest kanałem centralnym do kapilar od wewnętrznej części dysków, następnie wypychana jest siłą odśrodkową kanałami na zewnętrzną część dysku, gdzie w trakcie przemieszczania się cieczy w kapilarach następuje desorpcja CO₂.

W patencie WO 99/62608 przedstawiono nowy typ regeneratora do procesu desorpcji gazów CO₂ oraz H₂S z roztworów absorpcyjnych. Przedstawiony regenerator jest konstrukcją obrotową, gdzie nasycony roztwór absorpcyjny podawany jest na wirujące talerze od góry regeneratora. Rozrzucony siłą

odśrodkową częściowo regenerowany roztwór spływa poprzez przewężenia na kolejne talerze. Dodatkowo, w głównej osi regeneratora podawane jest medium grzewcze, które pozwala na podgrzanie wirujących dysków.

Firma Siemens zgłosiła serię patentów w których zaproponowano różne rozwiązania w układzie cyrkulacji cieczy i wymiany masy w procesie CO₂ z gazów spalinowych.

W patencie EP2105191 opisano rozwiązanie, w którym kolumna absorpcyjna i regenerator podzielono na dwie strefy, gdzie w pierwszej strefie całkowicie wysycony roztwór absorpcyjny jest przekazywany przez wymiennik ciepła do regeneratora, gdzie zostaje częściowo zregenerowany. Częściowo zregenerowany strumień absorpcyjny podawany jest na kolumnę absorpcyjną w miejscu gdzie stopień wysycenia odpowiada częściowo wysyconemu roztworowi absorpcyjnemu. Natomiast z dołu kolumny regeneracyjnej odbierany jest w pełni zregenerowany roztwór absorpcyjny, który z kolei podawany jest na górę kolumny absorpcyjnej. Jest to rozwiązanie odpowiadające schematowi realizacji procesu z rozdzielonymi strumieniami.

W patencie EP2105190 proces oczyszczania gazów spalinowych podzielono na dwa osobne obiegi roztworów absorpcyjnych, gdzie w pierwszym obiegu gazy spalinowe są częściowo oczyszczane z CO₂, natomiast w drugim obiegu następuje pełne usunięcie CO₂ z gazów spalinowych. Desorpcja CO₂ wymuszona jest poprzez wzrost temperatury roztworu w regeneratorach.

W patencie EP2105188 firma Siemens przedstawiła rozwiązanie, gdzie absorpcja CO₂ z gazów spalinowych zachodzi w klasycznej kolumnie absorpcyjnej, natomiast regeneracja odbywa się poprzez zastosowanie dwóch osobnych regeneratorów, gdzie w pierwszym zachodzi częściowa desorpcja CO₂ natomiast w drugim – całkowita. Oba regeneratory ogrzewane są parą, przy czym regenerator pierwszy, parą niskotemperaturową o temperaturze 60–120°C, a drugi parą wysokotemperaturową, o temperaturze powyżej 120°.

W patencie EP2105187 przedstawiono sposób usuwania CO₂, gdzie roztwór absorpcyjny po nasyceniu dzielony jest na dwa równe strumienie i jest wprowadzany do regeneratorów w celu desorpcji CO₂. Strumień opuszczający absorber wymienia ciepło ze strumieniem zregenerowanym kierowanym do górnej części absorbera. Regeneratory wymieniają ciepło między sobą w taki sposób, że strumień opuszczający pierwszy regenerator oddaje ciepło strumieniowi wprowadzanemu do drugiego regeneratora.

W celu wyrównania stopnia desorpcji wynikającego z zależności stopnia nasycenia od temperatury pierwszy regenerator pracuje pod niższym ciśnieniem niż regenerator drugi.

W patencie WO 2009/127440 przedstawiono metodę oraz urządzenie przeznaczone do separacji ditlenku węgla z gazów, roztworów, materiałów stałych oraz szlamu. Patent opisuje proces absorpcji i desorpcji, gdzie najważniejszą częścią urządzenia jest regenerator ultradźwiękowy. Zastosowanie źródła ultradźwięków pozwala na obniżenie temperatury regeneracji do 40–80°C i przyspieszenie procesu desorpcji CO₂.

W japońskim patencie JP5146638 opisano regenerator skonstruowany z płyt ułożonych schodkowo w sposób radialny. Regenerator ogrzewany jest elektrycznie, gdzie grzałki ogrzewają każdą półkę z osobna. Rozwiązanie to pozwala na uniknięcie różnic temperatur w przepływającym mediach, gdzie spadek temperatury obniża wydajność regeneracji roztworu absorpcyjnego.

Z przedstawionego stanu wiedzy, opisów patentowych wynika, iż znanych jest wiele rozwiązań problemu zmniejszania energochłonności procesu desorpcji ditlenku węgla z roztworów absorpcyjnych. Znane rozwiązania technologii myć aminowych z zastosowaniem roztworów alkanoloamin nie spełniają jednak wymagań ekonomicznych, niskoenergetycznego, ekonomicznie uzasadnionego sposobu regeneracji roztworów absorpcyjnych pozwalającego na realizację procesu w dużej skali przemysłowej. Istnieje zatem potrzeba opracowania nowego sposobu regeneracji roztworów absorpcyjnych alkanoloamin w procesie usuwania ditlenku węgla z gazów spalinowych bloków energetycznych dużej mocy.

Celem wynalazku jest opracowanie niskoenergetycznego, ekonomicznie uzasadnionego sposobu regeneracji roztworów absorpcyjnych alkanoloamin w procesie usuwania ditlenku węgla z gazów spalinowych bloków energetycznych.

Istota wynalazku polega na tym, że nasycony ditlenkiem węgla roztwór absorpcyjny, zawierający alkanoloaminy, dzieli się na dwa strumienie, pierwszy strumień roztworu absorpcyjnego wprowadza się do górnej części diabatyicznego regeneratora rekuperatora a drugą część roztworu absorpcyjnego ogrzewa się w wymienniku ciepła, ciepłem częściowo schłodzonego, zregenerowanego roztworu absorpcyjnego i wprowadza się do diabatyicznego regeneratora rekuperatora poniżej punktu wprowadzenia pierwszego strumienia, na półki, zawierające zabudowane wymienniki ciepła, w których przepływa

i schładza się zregenerowany roztwór absorpcyjny i gdzie wykonuje się diabatyyczny proces desorpcji ditlenku węgla poprzez krzyżowo-przeciwprądowe, przeponowe ogrzewanie regenerowanego roztworu absorpcyjnego przepływającego na półkach, przy pomocy schładzanego w wymiennikach ciepła, zregenerowanego roztworu absorpcyjnego i poprzez bezprzeponowe, bezpośrednie ogrzewanie regenerowanego roztworu absorpcyjnego i desorpcję ditlenku węgla w strumieniu mieszaniny pary wodnej i ditlenku węgla przepływającej z dolnej części regeneratora rekuperatora, a końcową regenerację roztworu absorpcyjnego wykonuje się w dolnej części diabatyicznego regeneratora rekuperatora poprzez ogrzewanie roztworu i desorpcję ditlenku węgla w strumieniu pary wodnej wytworzonej w wyparce regeneratora rekuperatora, a zregenerowany roztwór absorpcyjny odbiera się z dołu regeneratora i prowadzi się w przeciwnym kierunku do przepływu regenerowanego roztworu absorpcyjnego w regeneratorskim rekuperatorskim poprzez wymienniki ciepła umieszczone na poszczególnych półkach w części diabatyicznej regeneratora rekuperatora i schładza się zregenerowany roztwór absorpcyjny w tych wymiennikach ciepła i schładza się zregenerowany roztwór absorpcyjny w zewnętrznym wymienniku ciepła, gdzie podgrzewa się wstępnie część strumienia roztworu absorpcyjnego, nasyconego ditlenkiem węgla.

Istota wynalazku polega na tym, że wielkości przepływów poszczególnych strumieni masy i ciepła w obrębie regeneratora rekuperatora organizuje się tak, by średnia różnica temperatur pomiędzy zregenerowanym roztworem przepływającym poprzez poszczególne wymienniki ciepła umieszczone na półkach, a cieczą znajdującą się na tych półkach i na każdej półce strefy diabatyicznego regeneratora rekuperatora nie była wyższa niż 8 K.

Istota wynalazku polega na tym, że wymienniki ciepła umieszczone na półkach strefy diabatyicznej regeneratora rekuperatora, całkowicie omywa się cieczą znajdującą się na tych półkach i całkowicie zanurza się w cieczy znajdującej się na tych półkach i omywa się mieszaniną gazowo-parową pary wodnej i ditlenku węgla, przepływającą przez te półki.

Sposób regeneracji roztworów absorpcyjnych alkanoloamin w procesie usuwania ditlenku węgla z gazów spalinowych przedstawiono w przykładzie wykonania na rysunku.

Liczbami od 1 do 7 oznaczono aparaty i urządzenia, a liczbami od 100 do 116 oznaczono linie technologiczne dla przepływu mediów procesowych.

Sposób regeneracji roztworów absorpcyjnych alkanoloamin w procesie usuwania ditlenku węgla ze spalin, charakteryzuje się tym, że nasycony ditlenkiem węgla roztwór absorpcyjny 100, doprowadzony do sekcji regeneracji, dzieli się na dwa strumienie, strumień 101, w ilości do 10% całego strumienia 100 i strumień 102. Strumień 101 wprowadza się do diabatyicznego regeneratora rekuperatora 2 na odpowiednią półkę, lub warstwę wypełnienia, znajdującego się poniżej strefy doprowadzenia wodnego kondensatu procesowego. Strumień 102 jest ogrzewany w wymienniku ciepła 1 do temperatury, korzystnie powyżej 323 K, strumieniem roztworu zregenerowanego 104, odprowadzonym z ostatniej górnej półki sekcji diabatyicznej regeneratora rekuperatora 2 i zregenerowany roztwór absorpcyjny schładza się do temperatury od 5 do 10 K wyższej od temperatury strumienia 102. Wstępnie ogrzany, nasycony ditlenkiem węgla roztwór absorpcyjny, wprowadza się linią 104 do regeneratora rekuperatora na półkę, powyżej strefy diabatyicznej regeneratora rekuperatora. Roztwór spływa w dół regeneratora na półki, w przepływie krzyżowo-przeciwprądowym do strumienia mieszaniny gazowo-parowej, pary wodnej i ditlenku węgla i przez półki, na których zainstalowane są wymienniki ciepła, przez które w przeciwnym kierunku krzyżowym do przepływu cieczy na półkach, przepływa zregenerowany roztwór absorpcyjny. Diabatyiczna desorpcja ditlenku węgla i regeneracja roztworu absorpcyjnego następuje wskutek przeponowego ogrzewania roztworu absorpcyjnego przepływającego i znajdującego się na półkach, ciepłem oddawanym od schładzanego, zregenerowanego roztworu absorpcyjnego i poprzez bezprzeponowe ogrzewanie roztworu absorpcyjnego przez półki, ciepłem oddawanym przez mieszaninę gazową parę wodną i ditlenku węgla przepływającą w przeciwnym kierunku przez półki, z dołu do góry regeneratora rekuperatora. Zregenerowany częściowo roztwór absorpcyjny spływający ze strefy diabatyicznej regeneracji regeneratora rekuperatora 2 spływa poprzez syfon 108 do dolnej części regeneratora rekuperatora 2, zabudowanej półkami, lub wypełnieniem usypanym lub korzystnie pakietowym. Do dolnej części regeneratora rekuperatora doprowadza się parę wodną wytworzoną w wyparce regeneratora 3, połączonej obiegami parowo-cieczowymi 106 i 107 z regeneratorem rekuperatorem 2. W dolnej strefie regeneratora rekuperatora następuje końcowa desorpcja ditlenku węgla. Zregenerowany roztwór absorpcyjny odprowadza się przewodem 109 z dołu regeneratora 2 i tłoczy się pompą 4 przez wymienniki ciepła zainstalowane na półkach w diabatyicznej części regeneratora rekuperatora, gdzie jest schładzany, oddając przeponowo ciepło dla wykonania diabatyicznej, w pobliżu warunków równowagowych desorpcji ditlenku węgla na poszczególnych półkach.

Częściowo schłodzony, zregenerowany roztwór absorpcyjny odprowadza się z regeneratora rekuperatora 2 przewodem 104 i schładza się w wymienniku ciepła 1 do temperatury od 5 do 10 K wyższej od temperatury strumienia 102 i odprowadza się dalej do sekcji absorpcyjnej usuwania ditlenku węgla. Proces adiabatycznej regeneracji roztworu absorpcyjnego prowadzi się, korzystnie pod ciśnieniem atmosferycznym lub nieco wyższym od atmosferycznego, w temperaturze $383 \div 403$ K, w dolnej części regeneratora rekuperatora, zależnej od składu roztworu absorpcyjnego i stosowanych alkanoloamin. Proces adiabatycznej regeneracji roztworu absorpcyjnego prowadzi się tak, by średnia różnica temperatur pomiędzy zregenerowanym roztworem absorpcyjnym przepływającym przez wymienniki ciepła umieszczone na półkach, a cieczą znajdującą się na półkach i przepływającą przez półki i na każdej półce strefy adiabatycznej regeneratora rekuperatora nie była wyższa niż $5 \div 8$ K, co realizuje się przez odpowiednią konstrukcję wymienników ciepła i ich usytuowanie względem płaszczyzny półki.

Sposób regeneracji roztworów absorpcyjnych alkanoloamin według wynalazku charakteryzuje się tym, że wymienniki ciepła umieszczone na półkach w strefie adiabatycznej desorpcji ditlenku węgla i regeneracji roztworu absorpcyjnego są całkowicie omywane cieczą znajdującą się na tych półkach i są całkowicie zanurzone w cieczy znajdującej się na tych półkach i są intensywnie omywane mieszaniną gazowo-parową pary wodnej i ditlenku węgla przepływającą przez te półki, celem spełnienia warunków dla adiabatycznej desorpcji ditlenku węgla, uzyskania wysokich współczynników przenikania ciepła od powierzchni wymienników ciepła do mieszaniny ciekłej i parowo-gazowej znajdującej się na półkach, co realizuje się poprzez zastosowanie przelewów odpływowych cieczy z półek o zwiększonej wysokości i poprzez instalowanie odpowiedniej konstrukcji wymienników ciepła, o wysokości niższej od wysokości przelewów.

Wytworzona w regeneratorze 2 mieszanina parowo gazowa, pary wodnej i ditlenku węgla przepływa przewodem 111 do skraplacza 5, chłodzonego czynnikiem chłodniczym. Następuje wykroplenie wody, woda jest oddzielana w separatorze 6 i jest tłoczona przewodem 114 i przewodem 115 na szczyt regeneratora rekuperatora, korzystnie na najwyższą z czterech półek kołpakowych i przewodem 113 do sekcji absorpcyjnej na szczyt kolumny absorpcyjnej. Wydzielony strumień ditlenku węgla 116 odprowadzony jest z separatora 6.

Zalety sposobu regeneracji roztworów absorpcyjnych alkanoloamin w procesie usuwania ditlenku węgla z gazów spalinowych, sposobem według wynalazku przedstawiają następujące przykłady.

Przykład 1

Wykonano obliczenia modelowe symulacyjne procesu usuwania ditlenku węgla ze spalin zawierających 15% obj. ditlenku węgla, ze sprawnością usunięcia CO_2 równą 90%, w instalacji pilotowej zawierającej adiabatyczny regenerator rekuperator i pracującej w jednostrumieniowym schemacie przepływu roztworu absorpcyjnego z głównym wymiennikiem ciepła charakteryzującym się niedokuperacją na „zimnym końcu” wymiennika ciepła równą 5 K. Obliczenia wykonano dla absorpcji ditlenku węgla w 20%-owym wagowo wodnym roztworze monoetanolaminy, przy stopniu karbonizacji roztworu zregenerowanego $0,29 \text{ molCO}_2/\text{mol MEA}$ i przy stopniu karbonizacji roztworu nasyconego $0,49 \text{ molCO}_2/\text{mol MEA}$. Obliczenia wykonano dla adiabatycznego regeneratora rekuperatora zawierającego w dolnej części 9 półek sitowych i zawierającego w strefie adiabatycznej 21 półek sitowych z przelewami o wysokości 200 mm, zawierającego 4 półki sitowe powyżej strefy adiabatycznej dla wykraplania pary wodnej w strumieniu zimnego nasyconego roztworu absorpcyjnego i 4 półki kołpakowe w górnej części regeneratora, zasilane kondensatem pary wodnej. Obliczenia wykonano dla strumienia 101 doprowadzanego na szczyt regeneratora rekuperatora w ilości 10% wielkości strumienia 100. Obliczenia wykonano dla wymienników ciepła umieszczonych na półkach, całkowicie zanurzonych w cieczy przy spełnieniu warunku różnicy temperatur pomiędzy temperaturą średnią zregenerowanego roztworu absorpcyjnego w każdym wymienniku ciepła, a temperaturą cieczy i fazy gazowej na każdej i danej półce nie większej niż 8 K.

Obliczenia wykonano dla optymalnych warunków hydraulicznych na poszczególnych półkach i przy zastosowaniu optymalnej wartości liczby flegmowej. Obliczenia wykonano dla procesu regeneracji pod ciśnieniem atmosferycznym. W wyniku obliczeń modelowych uzyskano obliczeniowe zużycie energii cieplnej dla realizacji procesu usuwania CO_2 na poziomie $6,5 \div 7,5 \text{ MJ/m}^3$ normalny usuniętego CO_2 , przy czym założono, że straty ciepła do otoczenia wynoszą co najmniej 5%. W wyniku obliczeń stwierdzono, że zużycie ciepła związane z niedorekuperacją ciepła w wymienniku ciepła wynosi $25 \div 35\%$ całkowitego zużycia ciepła. Pozostałymi składowymi zużycia ciepła są składowe związane z wytworzeniem pary w wyparce i realizacją adiabatycznego procesu desorpcji ditlenku węgla.

Przykład 2 (porównawczy)

Wykonano obliczenia modelowe symulacyjne usuwania ditlenku węgla, przy identycznych jak w przykładzie 1 założeniach dla instalacji pilotowej pracującej w schemacie przepływów jednostrumieniowych roztworu absorpcyjnego z głównym wymiennikiem ciepła i jednostrumieniową kolumną regeneracyjną, pracującą według klasycznego schematu technologicznego. W wyniku obliczeń modelowych uzyskano obliczeniowe zużycie energii cieplnej na usunięcie CO₂ na poziomie $11,5 \div 13,5$ MJ/m³ normalny usuniętego CO₂. W obliczeniach założono, że straty ciepła do otoczenia wynoszą 5%. W wyniku obliczeń stwierdzono, że zużycie ciepła związane, z wytworzeniem pary w kolumnie regeneracyjnej i związane z desorpcją ditlenku węgla wynosi $60 \div 70\%$ całkowitego zużycia ciepła. Wyniki tych obliczeń porównano z opublikowanymi danymi literaturowymi, potwierdzono dobrą zgodność wykonanych obliczeń z danymi z instalacji przemysłowych dla tego przykładu obliczeniowego.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób regeneracji roztworów absorpcyjnych alkanoloamin w procesie usuwania ditlenku węgla z gazów spalinowych, **znamienny tym**, że nasycony ditlenkiem węgla roztwór absorpcyjny zawierający alkanoloaminy, dzieli się na dwa strumienie, pierwszy strumień roztworu absorpcyjnego wprowadza się do górnej części diabatycznego regeneratora rekuperatora, a drugą część roztworu absorpcyjnego ogrzewa się w wymienniku ciepła, ciepłem częściowo schłodzonego, zregenerowanego roztworu absorpcyjnego i wprowadza się do diabatycznego regeneratora rekuperatora poniżej punktu wprowadzenia pierwszego strumienia, na półki zawierające zabudowane wymiennikami ciepła, w których przepływa i schładza się zregenerowany roztwór absorpcyjny i gdzie wykonuje się diabatyczny proces desorpcji ditlenku węgla poprzez krzyżowo-przeciwprądowe przeponowe ogrzewanie zregenerowanego roztworu absorpcyjnego przepływającego na półkach, przy pomocy schładzanego w wymiennikach ciepła, zregenerowanego roztworu absorpcyjnego i poprzez bezprzeponowe bezpośrednie ogrzewanie zregenerowanego roztworu absorpcyjnego i desorpcję ditlenku węgla w strumieniu mieszaniny pary wodnej i ditlenku węgla przepływającej z dolnej części regeneratora, a końcową regenerację roztworu absorpcyjnego wykonuje się w dolnej części diabatycznego regeneratora rekuperatora poprzez ogrzewanie roztworu i desorpcję ditlenku węgla w strumieniu pary wodnej wytworzonej w wyparce regeneratora rekuperatora, a zregenerowany roztwór absorpcyjny odbiera się z dołu regeneratora i prowadzi się w przeciwnym kierunku przepływu zregenerowanego roztworu absorpcyjnego w regeneratorsie poprzez wymienniki ciepła umieszczone na poszczególnych półkach części diabatycznej regeneratora rekuperatora i schładza się zregenerowany roztwór absorpcyjny w tych wymiennikach ciepła i schładza się zregenerowany roztwór absorpcyjny w zewnętrznym wymienniku ciepła, gdzie podgrzewa się wstępnie część strumienia roztworu absorpcyjnego, nasyconego ditlenkiem węgla.
2. Sposób regeneracji roztworów alkanoloamin według wynalazku, **znamienny tym**, że wielkości przepływów poszczególnych strumieni masy i ciepła w obrębie regeneratora rekuperatora organizuje się tak, by średnia różnica temperatur pomiędzy zregenerowanym roztworem przepływającym poprzez poszczególne wymienniki ciepła umieszczone na półkach, a cieczą znajdującą się na tych półkach i na każdej półce strefy diabatycznej regeneratora rekuperatora nie była większa niż 8 K.
3. Sposób regeneracji roztworów alkanoloamin według wynalazku, **znamienny tym**, że wymienniki ciepła umieszczone na półkach strefy diabatycznej regeneratora rekuperatora, całkowicie omywa się cieczą znajdującą się na półkach i całkowicie zanurza się w cieczy znajdującej się na tych półkach i omywa się mieszaniną gazowo-parową pary wodnej i ditlenku węgla, przepływającą przez te półki.

Rysunek



