



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **131336** (13) **C2**
(51) МПК (2026.01)
B01J 8/00
B01J 8/02 (2006.01)
B01J 8/06 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

<p>(21) Номер заявки: а 2023 03640</p> <p>(22) Дата подання заявки: 27.01.2022</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 22.10.2026</p> <p>(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 21153969.7</p> <p>(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 28.01.2021</p> <p>(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку: EP</p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: 31.07.2024, Бюл.№ 31</p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 21.10.2026, Бюл.№ 42</p> <p>(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ: РСТ/EP2022/051865, 27.01.2022</p>	<p>(72) Винахідник(и): Хансен Андерс Хельбо (DK), Б'ярклев Крістіан (DK), Бое Мікаель (DK)</p> <p>(73) Володілець (володільці): ТОПСЬОЕ А/С, Haldor Topsøes Allé 1, 2800 Kgs. Lyngby, Denmark (DK)</p> <p>(74) Представник: Шамріна Олена Олексіївна, реєстр. №141</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: US 4113441 A, 12.09.1978 WO 2006/011757 A1, 09.11.2006 US 3400758 A, 10.09.1968 EP 1668306 A1, 14.06.2006 US 3366461 A, 30.01.1968 JP H09165202 A, 24.06.1997 US 3731733 A, 08.05.1973 WO 2013/004254 A1, 10.01.2013 US 2002/0085969 A1, 04.07.2002 US 2008/0021242 A1, 24.01.2008 EP 1048343 A2, 02.11.2000 EP 1080780 A1, 07.03.2001</p>
--	--

(54) КАТАЛІТИЧНИЙ ТЕПЛООБМІННИЙ РЕАКТОР ЗІ СПІРАЛЬНИМ ПОТОКОМ

(57) Реферат:

Винахід стосується каталітичного теплообмінного реактора для проведення ендотермічних або екзотермічних каталітичних реакцій з щонайменше одним спіральним висхідним потоком навколо теплопередавальних трубок та центральної трубки змішаного газу.

UA 131336 C2

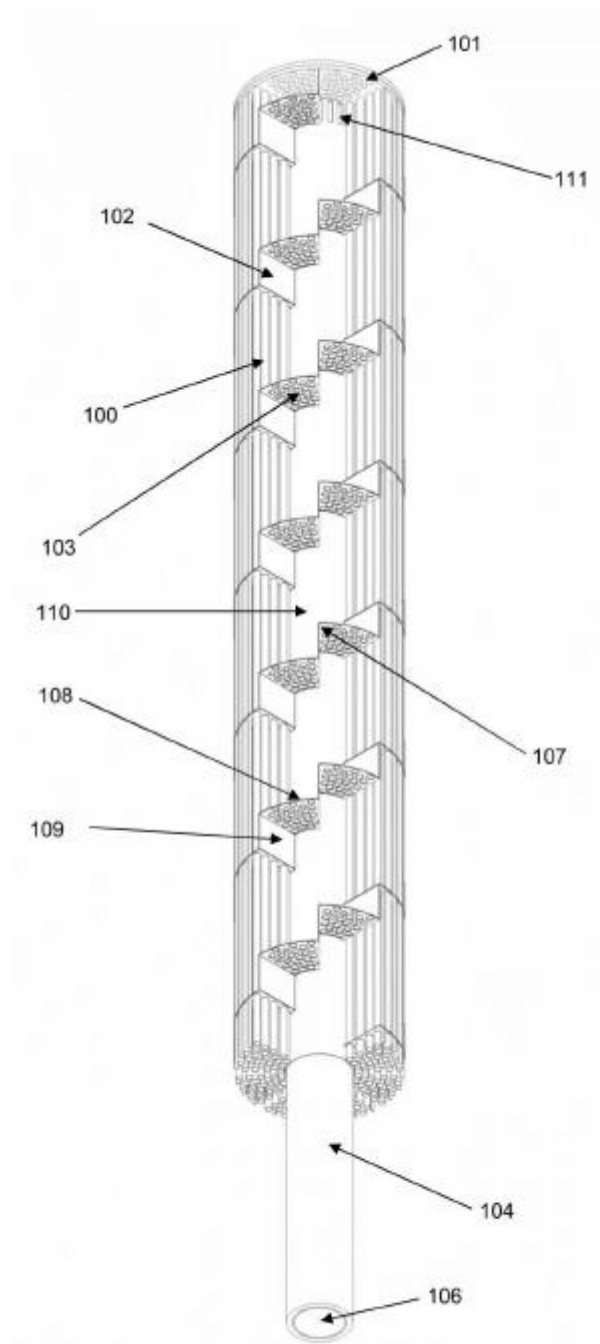


Fig. 1

Представлений винахід стосується каталітичного теплообмінного реактора для проведення ендотермічних або екзотермічних каталітичних реакцій. Зокрема, представлений винахід стосується каталітичного теплообмінного реактора, в якому щонайменше частина потоку має спіральну форму, що покращує та збалансовує теплообмін. Каталітичний теплообмінний

5

реактор може бути частиною великої установки, наприклад, установки з виробництва хімічних речовин.

Каталітичні реактори для проведення ендотермічних або екзотермічних реакцій добре відомі в даній галузі техніки; як приклад, можна навести реактори для парового ендотермічного риформінгу вуглеводнів та реактори для екзотермічних реакцій синтезу метанолу (обсяг винаходу не обмежується цими реакціями). Реакції зазвичай протікають в трубках, заповнених відповідним твердим каталізатором, через який в умовах підвищеного тиску пропускають потік технологічного газу, що містить реагуючі речовини. В реакторі розташована велика кількість

10

трубок. Трубки розташовані паралельно вздовж головної осі каталітичного реактора, в той час як теплообмінне середовище поза трубками їх нагріває або охолоджує. Твердий каталізатор всередині трубок утворює шар каталізатора, в якому протікають необхідні хімічні реакції. Каталізатор може бути представлений у вигляді твердих частинок або у вигляді структури з покриттям, наприклад, у вигляді тонкого шару, закріпленого на внутрішніх стінках труб в реакторах парового риформінгу, або/та у вигляді тонкого шару, закріпленого на конструкціях, таких як металеві конструкції, розміщені всередині труб.

15

20

В іншій конфігурації реактора, яка містить велику кількість трубок, частинки твердого каталізатора можуть бути розташовані зовні цих трубок, які далі також називаються теплопередавальними трубками, в той час як теплообмінне середовище проходить всередині. Твердий каталізатор, що знаходиться зовні теплообмінних трубок, являє собою шар каталізатора, в якому протікають необхідні хімічні реакції.

25

30

Також, з рівня техніки є відомими інші типи теплопередавальних трубок та теплообмінних реакторів. Далі винахід буде описано стосовно каталітичних теплообмінних реакторів та теплопередавальних трубок з каталізаторами, розташованими всередині трубок, при цьому трубки і реактор розташовані по суті вертикально. Однак обсяг винаходу не обмежується трубками та реакторами такого типу. Терміни "каталітичний реактор", "теплообмінний реактор" та "реактор" застосовуються як взаємозамінні. Під "шаром каталізатора" мається на увазі обсяг каталізатора, який утворює зазначений шар та знаходиться всередині теплопередавальних трубок. Терміни "теплопередавальні трубки" та "трубки" застосовуються як взаємозамінні та охоплюють трубки, які контактують з каталізатором, та з теплообмінним середовищем з метою проведення каталітичних реакцій.

35

40

Технологічний спосіб та реактор, в якому каталізатор знаходиться в непрямому контакті з теплообмінним середовищем, відомий з EP0271299. В цьому документі розкрито реактор та спосіб, який поєднує паровий риформінг та автотермічний риформінг. Зона парового риформінгу, розташована в нижній частині реактора, складається з ряду трубок з каталізатором, розміщеним в середині, тоді як в верхній частині реактора, каталізатор автотермічного риформінгу розміщений зовні трубок парового риформінгу. EP-A-1106570 розкриває спосіб парового риформінгу в паралельно з'єднаних трубчастих риформерах (реакторах), що складаються з ряду трубок парового риформінгу та нагріваються за допомогою непрямого теплообміну. Каталізатор розміщується в одному реакторі поза трубками парового риформінгу, а в іншому реакторі каталізатор розміщується всередині труб парового риформінгу.

45

50

WO0156690 розкриває теплообмінний реактор, який включає зовнішню оболонку, забезпечену впускним та випускним отворами для технологічного газу, велику кількість реакторних трубок, які підтримуються на своїх верхніх кінцях, колекторні засоби для подачі технологічного газу від зазначеного впускного отвору колектора до верхніх кінців реакторних трубок, причому зазначені засоби включають два або більше первинних впускних колектора, розташованих поперек верхньої частини зазначеної оболонки, де кожен первинний впускний колектор має глибину, більшу за його ширину, в результаті чого, зазначені трубки підтримуються відносно оболонки безпосередньо або опосередковано за допомогою зазначених первинних впускних колекторів.

55

60

EP1048343A розкриває реактор теплообмінного типу, який містить велику кількість трубок, що містять каталізатор, частину оболонки, через яку проходить теплоносії для здійснення теплообміну з реакційною рідиною в зазначених трубках, а також верхній і нижній трубні листи, причому верхні кінці зазначених трубок з'єднані з зазначеним верхнім трубним листом за допомогою перших компенсаторів, закріплених на верхній стороні зазначеного верхнього трубного листа, нижні кінці зазначених трубок прикріплені безпосередньо до плаваючого нижнього трубного листа, при цьому утворюється плаваюче приміщення, яке розділене

зазначеним нижнім трубним листом та внутрішньою торцевою пластиною (внутрішньою головкою), яка приєднана до його нижньої сторони, та яка має отвір в нижній частині, а зазначений отвір з'єднаний за допомогою другого компенсатора з виходом з боку трубок назовню реактора.

WO2006117572 описує пристрій для парового риформінгу вуглеводнів, що містить теплообмінний риформер, який має розміщену всередині велику кількість вертикальних труб, заповнених каталізатором, через які може проходити газова суміш, що складається з вуглеводню та пари, та через які може передаватися тепло за допомогою теплообмінного середовища, що протікає навколо зовнішніх поверхонь труб, де всередині риформера передбачені одна або декілька спіральних перегородок, розташованих таким чином, що теплообмінне середовище проходить через риформер за спіральною траєкторією. Також розкрито спосіб застосування пристрою для парового риформінгу вуглеводнів.

US3400758 розкриває теплообмінник трубного та кожухотрубного типу, в якому текуче середовище з боку кожуха протікає по трубках по спіральній траєкторії, причому перегородки виконані у вигляді поздовжньо розташованих сегментних пластинчастих елементів з поверхнями регулювання потоку, які є перпендикулярними до осей трубок, що спрощує встановлення та зняття трубок.

US4357991 розкриває теплообмінник, що має дискову та двовідбійну відбійну конфігурацію, в якій труби укладені в набір концентричних кілець. Кожне кільце з набору містить таку ж кількість трубок, що й кожне інше кільце набору, при цьому трубки в кожному кільці розташовані на однаковій відстані один від одного. Кожна трубка в кожному кільці розташована по колу посередині між двома сусідніми трубками кожного сусіднього кільця та відокремлена від кожної з двох сусідніх трубок в кожному суміжному кільці на відстані h . Відстань h підтримується постійною для всіх трубок в наборі, за рахунок зміни радіальної відстані між кільцями, а відстань між будь-якими двома сусідніми трубками в будь-якому кільці набору виконано більшою або рівною $2h$. Таким чином, зазори h , які є постійними, визначають мінімальну площу потоку між сусідніми кільцями, і, отже, масова швидкість потоку через трубний пучок є постійною.

US3731733 розкриває циліндричний корпус, де оболонка виконана з центральним трубчастим ядром, між якими перше текуче середовище протікає, щонайменше, за двома паралельними псевдоспіральними каналами, які перекриваються, та які повністю займають об'єм між оболонкою та ядром. Траєкторії потоку направляються вертикальними радіальними перегородками та горизонтальними перегородками. Перегородки з'єднані між собою радіальними перегородками по дві (спіральні двопотоківі перегородки) або по три (спіральні трипотоківі перегородки) та мають сегментовані вирізи, розташовані в шаховому порядку, послідовно відносно один одного. Також в просторі між оболонкою та ядром, що працює в поєднанні з проточними каналами, є ряд паралельних трубок, в яких протікає друге текуче середовище, причому зазначені трубки проходять через перегородки. Цей теплообмінник дозволяє не тільки підвищити теплову продуктивність за рахунок кращого напряму текучого середовища, але й значне механічне покращення за рахунок зменшення діапазону трубок трубних груп.

EP1668306 описує теплообмінник, який сконфігурований з перегородками у формі квадрата, розташованими під кутом до поздовжньої осі корпусу, для спрямування поперечного потоку текучого середовища в спіральну форму, зберігаючи при цьому практично рівномірну швидкість поперечного потоку.

Незважаючи на відомий рівень техніки, існує потреба в каталітичному теплообмінному реакторі, який забезпечує більш дешеве рішення задачі утилізації відпрацьованого тепла первинного процесу риформінгу для додаткового риформінгу. Крім того, існує потреба в каталітичному реакторі теплообміну з нижчою собівартістю виробництва, ніж в існуючих конструкціях. Крім того, існує потреба в каталітичному реакторі теплообміну, який зменшує кількість матеріалу, необхідного для теплопередавальних трубок.

Предметом представленого винаходу є створення каталітичного теплообмінного реактора, який вирішує згадані проблеми та, як буде пояснено далі, має додаткову низку переваг.

Це досягається за допомогою каталітичного теплообмінного реактора відповідно до представленого винаходу, як розкрито в подальшому описі та формулі винаходу. Відповідно, представлений винахід містить каталітичний теплообмінний реактор зі спіральним потоком з боку оболонки теплопередавальних трубок, який призначений для забезпечення майже однакової теплопередачі до всіх теплопередавальних трубок, тобто для збалансування теплопередачі, оскільки це необхідно для оптимального протікання каталітичної хімічної реакції.

Забезпечити однакоvu тепловіддачу до всіх теплопередавальних трубок доволі складно, оскільки потік прагне пройти переважно найкоротшу відстань, закручуючись по спіралі вгору в

каталітичному теплообмінному реакторі біля центру (тобто, за меншим діаметром). Таким чином, трубки, розташовані ближче до центра, отримують занадто багато тепла, а трубки розташовані біля зовнішньої оболонки отримують занадто мало тепла.

Каталітичний теплообмінний реактор відповідно до представленого винаходу, виконаний у вигляді кожухотрубного теплообмінника з каталізатором в теплопередавальних трубках. Він має однострунну конструкцію, де кожна з теплопередавальних трубок є одинарною трубкою (на відміну, наприклад, від більш складної концентричної подвійної трубки). В одному з варіантів здійснення, він має сходову перегородку, зигзагоподібну форму труб, пластини для обмеження потоку біля зовнішньої периферії трубного пучка та центральну трубу, що замінює зовнішню лінію передачі зворотного потоку.

Траекторія проходження потоку в каталітичному теплообмінному реакторі відбувається наступним чином: Технологічний газ надходить до верхньої частини пучка теплопередавальних труб, де він проходить через каталізатор, розташований в трубках. Риформований газ змішується в нижній частині реактора з більш гарячим теплообмінним газом (наприклад, з ATR), в результаті чого його температура підвищується. Потім змішаний газ проходить через оболонку теплопередавальних трубок, в одному варіанті здійснення, двома спіральними потоками, де відбувається передача тепла трубкам і, таким чином, ендотермічний процес всередині трубок, після чого він виводиться в центр каталітичного теплообмінного реактора у верхній частині (під трубним листом) та через центральну трубку змішаного газу спускається вниз і виходить з реактора.

Однострунна конструкція відповідно до представленого винаходу знижує вартість порівняно з існуючими конструкціями каталітичних теплообмінних реакторів. Крім того, проста геометрія трубок дозволяє використовувати набагато вужчі (малого діаметру) теплопередавальні трубки, ніж це можливо в інших типах відомих теплообмінних реакторів. Це дозволяє зменшити кількість матеріалу, необхідного виготовлення теплопередавальних трубок. Спіральний потік в каталітичному теплообмінному реакторі дозволяє отримати більш компактне конструктивне рішення реактора з низьким перепадом тиску при тій же продуктивності порівняно з іншими рішеннями. В варіанті здійснення з перегородками, розташованими у вигляді спіральних сходів, конструкція сходів дозволяє виготовляти систему перегородок шляхом збирання прямих металевих листів, що спрощує виробництво. Використання багатьох маленьких сходиночок при обертанні зменшує перепад тиску, порівняно з кількома великими сходинок. Варіант здійснення зі сходовою конструкцією дозволяє змінювати відстань між перегородками по довжині пучка передавальних труб. Це може бути використано для підтримки або збільшення швидкості змішаного газу в міру охолодження потоку вздовж трубного пучка шляхом поступового зменшення відстані між перегородками, таким чином зменшуючи площу поперечного перерізу каналу потоку. Таким чином, представлений винахід також може працювати при фіксованій відстані між перегородками. В варіанті здійснення із зигзагоподібним компануванням передавальних труб та/або пластинами обмеження потоку на зовнішній стороні пучка передавальних труб, компанування та обмежувальні пластини вирівнюють потік, що зменшує розкид теплового потоку між трубами. Центральна труба для змішаного газу збирає змішаний газ з верхньої частини каталітичного теплообмінного реактора та виводить змішаний газ в нижню частину реактора. Таким чином, відпадає необхідність в зовнішній лінії зворотної передачі трубопроводу, що дозволяє заощаджувати простір та витрати. В одному з варіантів здійснення винаходу, для фіксації перегородок на місці замість стяжних шпильок використовують зовнішній та/або внутрішню оболонку. В варіанті здійснення з внутрішньою оболонкою, внутрішня оболонка розташований навколо центральної газової трубки зі змішаним газом, має перфорацію для усунення теплового перепускного/обхідного потоку на вході центральної газової трубки зі змішаним газом в просторі між внутрішнім кожухом та центральною газовою трубкою зі змішаним газом. Перфорація забезпечує постійне змішування/обмін газу, що протікає у просторі між внутрішньою оболонкою та центральною газозмішувальною трубкою, з газом, що протікає в спіральному потоці. Таким чином, весь змішаний газ проштовхується через пучок передавальних трубок, і тоді відпадає або зменшується необхідність в сальниковій коробці між внутрішньою оболонкою та центральною газозмішувальною трубкою.

В одному з варіантів здійснення винаходу, каталітичний теплообмінний реактор для проведення ендотермічних або екзотермічних каталітичних реакцій містить кожух з циліндричною частиною. Циліндрична частина становить основну частину каталітичного теплообмінного реактора та в більшості випадків орієнтована в вертикальному положенні. В середині кожуха розташована велика кількість вертикальних теплопередавальних трубок. Теплопередавальні трубки щонайменше частково заповнені каталізатором, причому

каталізатор може бути в вигляді гранул будь-якої форми, в вигляді каталізованих апаратних структур та/або каталітичного покриття на внутрішній поверхні теплопередавальних трубок, як згадувалося вище. Через теплопередавальні трубки, заповнені каталізатором, технологічний газ може проходити від верхнього кінця теплопередавальних трубок, через трубки та до нижнього кінця теплопередавальних трубок. Каталітичний теплообмінний реактор додатково містить щонайменше один верхній впускний отвір для технологічного газу, що забезпечує проходження технологічного газу до верхнього кінця теплопередавальних трубок. Верхній впускний отвір технологічного газу може бути розташований в верхній частині циліндричного кожуха або вище в верхній частині кожуха. Крім того, каталітичний теплообмінний реактор містить щонайменше один нижній впускний отвір теплообмінного газу та щонайменше один нижній випускний отвір змішаного газу, обидва з яких можуть бути розташовані в корпусі під теплопередавальними трубками. Верхній трубний лист розташований у верхній частині кожуха, або у верхній частині циліндричної секції, або над нею. Верхній трубний лист призначений для підтримки великої кількості теплопередавальних трубок. Опора яка підтримує теплопередавальні трубки, може бути вільно ковзаючою, тільки в горизонтальному напрямку, але допускає вертикальне переміщення; або фіксованою опорою теплопередавальних трубок, наприклад, зварний шов, різьблення або будь-яка інша відома фіксована опора. Прикладом вільно ковзаючої опори можуть бути отвори в верхньому трубному листі, діаметр яких трохи більший за зовнішній діаметр теплопередавальних трубок, що дозволяє теплопередавальним трубкам здійснювати вертикальні рух, але майже не допускає горизонтальних рухів відносно верхнього трубного листа, іншим прикладом може бути сальникова коробка. В середині кожуха, під верхнім трубним листом, розташована велика кількість перегородок. Перегородки мають отвори, пристосовані для підтримки великої кількості т теплопередавальних трубок. Як і верхній трубний лист, перегородки, що підтримують теплопередавальні трубки, можуть бути нерухомими або вільно ковзаючими або частина перегородок може бути нерухомою, а інша частина вільно ковзаючою. Перегородки забезпечують проходження потоку змішаного газу, що складається з теплообмінного газу, що надходить з нижнього впускного отвору для теплообмінного газу, і риформованого газу, що виходить з нижнього кінця теплопередавальних трубок, щонайменше одним спіральним висхідним потоком всередині кожуха та навколо зовнішньої сторони кожної з теплопередавальних трубок. Конструкція перегородок та їх розташування всередині корпусу та навколо теплопередавальних трубок спрямовує потік змішаного газу щонайменше в один спіральний висхідний потік. Далі будуть описані різні варіанти здійснення такого розташування та конструкції, але даний варіант здійснення не обмежується однією конструкцією та розташуванням перегородок, а також охоплює один або декілька окремих спіральних висхідних потоків всередині кожуха. Каталітичний теплообмінний реактор також містить центральну трубу змішаного газу, розташовану вертикально в центрі кожуха з верхнім впускним і нижнім випускним кінцем. Центральна труба для змішаного газу забезпечує проходження потоку змішаного газу від верхньої частини щонайменше одного спірального висхідного потоку, що примикає до нижньої сторони верхнього листа труби, до нижнього виходу змішаного газу. Відповідно, коли щонайменше один спіральний висхідний потік досягає нижньої сторони верхнього листа труби, він не може текти далі в висхідному спіральному напрямку, замість цього він витісняється в центральну трубу змішаного газу через верхній впускний отвір центральної труби змішаного газу. Від верхнього впускного отвору змішаний газ тече вниз через центральну трубу змішаного газу та виходить з центральної труби змішаного газу через нижній випускний кінець. Таким чином, центральна частина каталітичного теплообмінного реактора, який є не дуже ефективним для теплообміну у випадку спірального потоку, використовується для зворотного потоку змішаного газу. В відомих теплообмінних реакторах для цього зазвичай використовується зовнішня лінія передачі, яка є дорогою та займає значний простір, оскільки вона також повинна бути теплоізолюваною. Таким чином, каталітичний теплообмінний реактор відповідно до даного винаходу, поєднує в собі переваги спірального висхідного потоку навколо теплопередавальних трубок для посилення та вирівнювання теплообміну з описаними вище перевагами центральної трубки для зворотного потоку.

В одному з варіантів здійснення винаходу, каталітичний теплообмінний реактор являє собою каталітичний теплообмінний реактор парового риформінгу вуглеводнів. В іншому варіанті здійснення винаходу, велика кількість перегородок розташована щонайменше в одній спіралі. Щонайменше одна спіраль розташована таким чином, щоб забезпечити вищезазначений спіральний висхідний потік, однак слід розуміти, що винахід не обмежується цим варіантом здійснення, оскільки інші варіанти розташування великої кількості перегородок можуть

забезпечити висхідний спіральний потік (потоки), наприклад, горизонтальні перегородки з кутовими поверхнями (як у пропелерів) та інші варіанти розташування.

В одному з варіантів здійснення винаходу, щонайменше один спіральний висхідний потік проходить навколо центральної труби зі змішаним газом, а перегородки складаються з наборів горизонтальних та вертикальних сегментів, розташованих у вигляді спіральних сходів. Коли змішаний газ витікає з нижньої частини кожуха між теплопередавальними трубками, потік зустрічається з перегородками, розташованими у вигляді спіральних сходів, і, таким чином, він змушений здійснювати висхідний спіралеподібний рух від нижньої частини кожуха до верхньої частини кожуха, перш ніж він зустріне з нижньою стороною верхнього листа труби і буде змушений потрапити всередину та у верхній впускний кінець центральної труби для змішаного газу. Перевага варіанта здійснення з перегородками, що складаються з наборів горизонтальних та вертикальних сегментів, полягає, зокрема, в тому, що перегородки можуть бути легко виготовлені і, як наслідок, мають низьку собівартість, а також спрощується монтаж та встановлення теплопередавальних трубок та перегородок.

В одному з варіантів здійснення винаходу, велика кількість перегородок розташована та пристосована для забезпечення від одного до чотирьох спіральних висхідних потоків, переважно двох спіральних висхідних потоків. Наприклад, якщо відповідно до технологічного способу та інших передумов, перевага надається двом спіральним висхідним потокам, велика кількість перегородок може бути розташована у вигляді двох спіральних сходинок, причому нижній кінець однієї спіральної сходинки розташований з обертом на 180 градусів щодо нижнього кінця іншої спіральної сходинки.

В одному з варіантів здійснення винаходу, повний оберт на 360 градусів щонайменше одного спірального висхідного потоку містить від двох до шістнадцяти наборів перегородок, переважно вісім наборів перегородок. Кількість перегородок, яку вибрав для повного оберт на 360 градусів, залежить від конкретного каталітичного теплообмінного реактора та конкретного технологічного способу, та може змінюватися в залежності від вимог до вартості матеріалів та будівельних конструкцій, втрати тиску, теплопередачі, та інших параметрів.

В одному з варіантів здійснення винаходу, відстань між перегородками по вертикалі в верхній частині щонайменше одного спірального висхідного потоку менше, ніж в нижній частині щонайменше одного спірального висхідного потоку. В нижній частині кожуха змішаний газ є відносно гарячим, і тому його густина є відносно низькою; під час проходження змішаного газу вгору по реактору теплообмінного зв'язку з теплопередавальними трубками, змішаний газ охолоджується за рахунок ендотермічної реакції в середині трубок, тому його густина підвищується. Щоб це компенсувати, вертикальна відстань між перегородками може бути зменшена вгору по реактору, таким чином прагнучи вирівняти та зберегти необхідний теплообмін. В одному з варіантів здійснення винаходу, відповідно до описаного вище, вертикальна відстань між перегородками поступово зменшується від нижньої частини щонайменше одного спірального висхідного потоку до верхньої частини щонайменше одного спірального висхідного потоку, тобто, від нижньої частини теплопередавальних трубок до верхньої частини теплопередавальних трубок. В іншому варіанті здійснення винаходу, відстань по вертикалі між верхніми вертикально розташованими перегородками становить менше 500 мм, а відстань по вертикалі між нижніми вертикально розташованими перегородками становить більше 600 мм. Наприклад, в випадку, коли перегородки мають конструкцію сходів, відстань між верхньою сходинкою та сходинкою, розташованою вертикально під нею, становить менше 500 мм, тоді як відстань між нижньою сходинкою та сходинкою, розташованою вертикально над нею, становить більше 600 мм. Конкретні відстані можуть змінюватися в залежності від конкретних параметрів технологічного способу та конкретного каталітичного теплообмінного реактора, які можуть бути різними в кожному конкретному випадку, у різних замовників.

В одному з варіантів здійснення винаходу, щонайменше один спіральний висхідний потік здійснює від одного до восьми повних обертів на 360 градусів від нижньої частини до верхньої частини щонайменше одного спірального висхідного потоку. Таким чином, описана велика кількість перегородок розташована таким чином, щоб забезпечити повторне звуження та примусове переміщення висхідного потоку змішаного газу та здійснювати щонайменше від одного і до восьми повних обертів на 360 градусів від нижнього кінця теплопередавальних трубок до верхнього кінця теплопередавальних трубок, де потік змішаного газу зустрічається з нижньою стороною трубного листа та примусово направляється всередину та у верхній вхідний отвір центральної трубки змішаного газу. Як вже зазначалося, це може бути досягнуто за рахунок різних конструкцій та розташування перегородок, наприклад, у вигляді сходової конструкції. Кількість повних обертів на 360 градусів, які здійснює змішаний газ щонайменше в одному спіральному висхідному потоці, знову ж таки залежить від конкретних параметрів

технологічного способу та конкретного каталітичного теплообмінного реактора, а також від кількості спіральних висхідних потоків, на які розрахований каталітичний теплообмінний реактор.

Для подальшого вирівнювання теплообміну вздовж горизонтального напрямку реактора, в одному з варіантів здійснення винаходу, відстань між вертикальними теплопередавальними трубками ближче до центральної трубки зі змішаним газом є меншою, ніж поблизу периферії кожуха. Оскільки потік змішаного газу здійснює спіральний висхідний рух, газ прагнучиме "пройти найменшу відстань" поблизу до центра реактора. Щоб протидіяти цьому і тим самим вирівняти теплообмін всіх теплопередавальних трубок, незалежно від того, чи розміщені вони біля центру, чи біля периферії кожуха, відстань між трубками поблизу центру є відносно меншою, ніж відстань між трубками на периферії. Відповідно, в іншому варіанті здійснення представленого винаходу, відстань між вертикальними теплопередавальними трубками поступово зменшується від найближчої периферії кожуха в напрямку до центральної трубки змішаного газу. Більш конкретно, в одному з варіантів здійснення винаходу, відстань між вертикальними теплопередавальними трубками становить менше 50 мм поблизу центральної трубки змішаного газу та більше 100 мм поблизу периферії кожуха.

Крім того, для збільшення та вирівнювання теплообміну між змішаним газом, що виходить за межі теплопередавальних трубок, і технологічним газом всередині теплопередавальних трубок, в одному з варіантів здійснення винаходу, вертикальні теплопередавальні трубки розташовані зигзагоподібно, якщо дивитися в тангенціальному напрямку кожуха. Таким чином, якщо дивитися з боку висхідного спірального потоку змішаного газу, то немає прямолінійного, "легкого та швидкого" шляху для проходження змішаного газу між теплопередавальними трубками. Оскільки теплопередавальні трубки розташовані зигзагоподібно в тангенціальному напрямку до кожуха, спіральний потік змішаного газу завжди буде відхилятися при зустрічі з наступною теплопередавальною трубкою на своєму шляху, що збільшує таким чином теплопередачу.

В одному з варіантів здійснення винаходу, каталітичний теплообмінний реактор додатково містить внутрішній кожух, що оточує і прилягає до центральної трубки змішаного газу. Внутрішній кожух прикріплений до верхнього листа труби та пристосований для підтримки щонайменше деяких з великої кількості перегородок. Таким чином, внутрішній кожух може підтримувати безліч перегородок. В одному з варіантів здійснення винаходу, внутрішній кожух має перфорацію. В результаті перфорації газ, який прагнув би проскочити в простір між центральною трубкою змішаного газу та внутрішнім кожухом, змішується зі змішаним газом, що мінімізує тепловий перепуск і усуває або принаймні мінімізує необхідність сальникової коробки. В іншому варіанті здійснення винаходу, внутрішній кожух може містити обмежувачі потоку, наприклад, пластини, що звужують потік для запобігання тангенціального перепуску змішаного газу і, таким чином, поліпшення теплопередачі в реакторі.

В одному з варіантів здійснення винаходу, каталітичний теплообмінний реактор також містить зовнішній кожух, розташований всередині і поряд з корпусом та пристосований для забезпечення опори щонайменше деяких перегородок. Оскільки кожух підтримує перегородки, перегородки можуть підтримувати теплопередавальні трубки, як описано раніше. В одному з варіантів здійснення винаходу, зовнішній кожух може містити пластини для обмеження потоку з ефектом, як описано раніше по відношенню до внутрішнього кожуха.

В одному з варіантів здійснення винаходу, каталізатор в теплопередавальних трубках складається з частинок, а вертикальні теплопередавальні трубки мають внутрішній діаметр, який в 1-1,9 рази перевищує найбільший зовнішній розмір частинок каталізатора. Таким чином, теплопередавальні трубки можуть бути сконструйовані дуже вузькими, щоб в кожній з них в горизонтальному перерізі могла знаходитися тільки одна частка каталізатора. Це може бути вигідним для теплообміну та каталітичного процесу і це стає можливим або доцільним завдяки простій геометрії трубок (не подвійні трубки), що дозволяє використовувати набагато вузьчі трубки, ніж відомі в даній галузі техніки. Слід розуміти, що можуть бути застосовані інші варіанти, наприклад такі як, варіант, в якому вертикальні теплопередавальні трубки мають внутрішній діаметр, що в 1-3,5 рази перевищує найбільший зовнішній розмір частинки каталізатора.

Таким чином, теплообмінний реактор відповідно до представленого винаходу, забезпечує набагато більш компакту конструкцію реактора, порівняно з відомими в даній галузі техніки, оскільки він не використовує об'єм для обертів потоку, має менший тіньовий ефект (коли потік з підвітряного боку, за конструкціями, не є оптимальним) та має більш рівномірну передачу тепла до труб, в тому числі за рахунок спірального потоку та центральної трубки змішаного газу.

Ознаки винаходу

1. Каталітичний теплообмінний реактор для проведення ендотермічних або екзотермічних каталітичних реакцій, що містить
 - кожух з циліндричним перерізом;
 - множину вертикальних теплопередавальних трубок, щонайменше частково заповнених каталізатором та розташованих всередині зазначеного кожуха та через які проходить технологічний газ від верхнього кінця теплопередавальних трубок до нижнього кінця теплопередавальних трубок;
 - щонайменше один верхній впускний отвір для технологічного газу, що забезпечує проходження потоку технологічного газу до верхнього кінця теплопередавальних трубок;
 - щонайменше один нижній впускний отвір теплообмінного газу;
 - щонайменше один нижній випускний отвір змішаного газу;
 - верхню трубку решітку, виконану з можливістю використання як основи для множини теплопередавальних трубок;
 - множину перегородок, розташованих всередині кожуха під верхньою трубкою решіткою, з отворами, виконаними з можливістю використання як основи для теплопередавальних трубок, причому перегородки містять набори горизонтальних та вертикальних сегментів, розташованих у вигляді спіральних сходів та виконаних з можливістю забезпечення проходження потоку змішаного газу, що містить теплообмінний газ, з нижнього впускного отвору для теплообмінного газу та риформованого газу, що входить з нижнього кінця теплопередавальних трубок, щонайменше в одному спіральному висхідному потоці всередині кожуха, навколо центральної трубки для змішаного газу та навколо зовнішньої сторони кожної з теплопередавальних трубок, де каталітичний теплообмінний реактор додатково містить центральну трубку для змішаного газу, розташовану вертикально в центрі кожуха з верхнім впускним отвором та нижнім випускним отвором, та виконану з можливістю забезпечення проходження потоку змішаного газу від верхньої частини щонайменше одного спірального висхідного потоку, що прилягає до нижньої сторони верхньої трубної решітки, до нижнього випускного отвору для змішаного газу.
2. Каталітичний теплообмінний реактор за пунктом 1, в якому каталітичний теплообмінний реактор є каталітичним теплообмінним реактором парового риформінгу вуглеводнів.
3. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-яким з попередніх пунктів, в якому множина перегородок розташована щонайменше в одній спіралі.
4. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-яким з попередніх пунктів, в якому множина перегородок розташована та виконана з можливістю забезпечення від 1 до 4 спіральних висхідних потоків, переважно двох спіральних висхідних потоків.
5. Каталітичний теплообмінний реактор за пунктами 3 або 4, в якому повний оберт на 360 градусів щонайменше одного спірального висхідного потоку включає від 2 до 16 комплектів перегородок, переважно 8 комплектів перегородок.
6. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-яким з попередніх пунктів, в якому вертикальна відстань між перегородками є меншою в верхній частині щонайменше одного спірального висхідного потоку, ніж в нижній частині щонайменше одного спірального висхідного потоку.
7. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-яким з попередніх пунктів, в якому вертикальна відстань між перегородками поступово зменшується від нижньої частини щонайменше одного спірального висхідного потоку до верхньої частини щонайменше одного спірального висхідного потоку.
8. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-яким з попередніх пунктів, в якому відстань по вертикалі між верхніми вертикально суміжними перегородками становить менше 500 мм, а відстань по вертикалі між найнижчими вертикально суміжними перегородками становить більше 600 мм.
9. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-яким з попередніх пунктів, в якому щонайменше один спіральний висхідний потік виконує від 1 до 8 повних обертів на 360 градусів від нижньої частини до верхньої частини щонайменше одного спірального висхідного потоку.
10. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-яким з попередніх пунктів, в якому відстань між вертикальними теплопередавальними трубками ближче до центральної трубки змішаного газу менше, ніж до периферії кожуха.
11. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-яким із попередніх пунктів, в якому відстань між вертикальними теплопередавальними трубками поступово зменшується від найближчої периферії кожуха в напрямку до центральної трубки змішаного газу.
12. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-яким із попередніх пунктів, в якому відстань між вертикальними теплопередавальними трубками становить менше 50 мм поблизу центральної трубки змішаного газу та більше 100 мм поблизу периферії кожуха.

13. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-яким із попередніх пунктів, в якому вертикальні теплопередавальні трубки розташовані зигзагоподібно, якщо дивитися в тангенціальному напрямку кожуха.

14. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-яким з попередніх пунктів, який додатково містить внутрішню оболонку, що оточує та прилягає до центральної трубки змішаного газу, закріплений на верхньому трубному листі та пристосований для підтримки щонайменше деяких з множини перегородок.

15. Каталітичний теплообмінний реактор за пунктом 14, в якому внутрішня оболонка має перфорацію.

16. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-яким із попередніх пунктів, що додатково містить зовнішню оболонку, розташовану в середині кожуха та прилягаючу до нього, та є виконаний з можливістю використання як основи щонайменше деяких перегородок.

17. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-якими з пунктів 14-16, при цьому внутрішня оболонка, або зовнішня оболонка, або внутрішня та зовнішня оболонки, містять пластини для обмеження потоку.

18. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-яким з попередніх пунктів, де каталізатор містить частинки, а вертикальні теплопередавальні трубки мають внутрішній діаметр, який в 1-1,9 разів перевищує найбільший зовнішній розмір частинки каталізатора.

Представлений винахід буде розглянуто більш детально з посиланням на деякі варіанти його здійснення, як показано на Фігурах, на яких:

Фігура 1 являє собою частково розрізаний ізометричний вигляд збоку деяких внутрішніх елементів каталітичного теплообмінного реактора відповідно до одного з варіантів здійснення винаходу,

Фігура 2 являє собою вигляд збоку з частковим розрізом деяких внутрішніх елементів каталітичного теплообмінного реактора відповідно до одного з варіантів здійснення винаходу,

Фігура 3 являє собою вигляд в поперечному перерізі деяких внутрішніх елементів каталітичного теплообмінного реактора згідно з варіантом здійснення винаходу.

101. верхній трубний лист

102. перегородки

103. отвір перегородки

104. центральна труба змішаного газу

105. верхній впускний кінець

106. нижній випускний кінець

107. спіраль

108. горизонтальний сегмент

109. вертикальний сегмент

110. внутрішній кожух

111. вихідні отвори внутрішнього кожуха

112. зовнішній кожух

113. пластини обмеження потоку

Слід розуміти, що далі наведено лише деякі конкретні варіанти здійснення винаходу. Також, як вже обговорювалося вище, існують інші варіанти здійснення винаходу, наприклад, ряд інших конструкцій перегородок, які забезпечують спіральний висхідний потік.

На Фігурі 1 показані деякі внутрішні елементи каталітичного теплообмінного реактора для проведення ендотермічних або екзотермічних каталітичних реакцій відповідно до одного з варіантів здійснення винаходу на частково розрізаному ізометричному вигляді збоку (деякі теплопередавальні трубки розрізані для більш наочного представлення інших частин внутрішніх елементів). Слід розуміти, що показані внутрішні компоненти встановлені в кожусі з циліндричною частиною (не показано), як відомо в даній галузі техніки. Багато теплопередавальних трубок 100 розташовані, щонайменше, в частині циліндричної частини кожуха в вертикальному положенні. Теплопередавальні трубки дозволяють технологічному газу проходити всередині них від верхнього кінця до нижнього кінця трубок повз каталізатор (не показаний), який принаймні частково заповнює теплопередавальні трубки. Технологічний газ надходить в теплопередавальні трубки щонайменше через один верхній впускний отвір для технологічного газу, розташований у верхній частині корпусу (не показаний), і далі через верхній трубний лист 101 через отвори в трубному листі, який також оточує і, таким чином, підтримує теплопередавальні трубки. Ця опора може бути вільного ковзання (підтримує теплопередавальні трубки тільки при горизонтальному переміщенні) або може бути нерухомою, що підтримує теплопередавальні трубки як в горизонтальному, так і в вертикальному положенні, як було зазначено раніше. Як видно, теплопередавальні трубки розташовані впритул

одна до одної, але на достатній відстані одна від одної, щоб забезпечити проходження газу між ними, тобто навколо зовнішньої сторони теплопередавальних трубок, про що буде розглянуто далі. Технологічний газ проходить вниз по всій довжині теплопередавальних трубок та виходить через нижні кінці теплопередавальних трубок у нижній частині кожуха. Тут технологічний газ поєднується з відносно гарячим теплообмінним газом, що надходить у нижню частину кожуха через щонайменше один нижній впускний отвір для теплообмінного газу (не показаний). Теплообмінний газ змішується з технологічним газом, і таким чином, гарячий (відносно технологічного газу) змішаний газ проходить вгору по кожуху навколо зовнішньої сторони теплопередавальних трубок. Висхідний потік змішаного газу обмежується та направляється великою кількістю перегородок 102. Перегородки складаються з наборів як горизонтальних сегментів 108 так і вертикальних сегментів 109, в даному варіанті здійснення, розташованих приблизно по спіралі 107, що представляє собою форму спіральних сходинок, які обмежують та направляють потік змішаного газу щонайменше в одному спіральному висхідному потоці всередині кожуха та навколо зовнішньої сторони кожної з теплопередавальних трубок, таким чином, забезпечується ефективний і рівномірний теплообмін від гарячого змішаного газу через стінки теплопередавальних трубок до більш холодного технологічного газу всередині теплопередавальних трубок, забезпечуючи нагрівання для ендотермічної каталітичної реакції (реакції), що відбувається в щонайменше частково заповнених каталізатором теплопередавальних трубках. Форма перегородок у вигляді спіральних сходинок спрямовує потік майже ідеальним висхідним спіральним рухом, в той же час забезпечуючи відносну простоту виготовлення та установки перегородок та теплопередавальних труб. Горизонтальні сегменти забезпечують поверхню перегородки, яка перпендикулярна до теплопередавальних трубок, і, таким чином, отвори 103 в перегородках, які підтримують та дозволяють проходження теплопередавальних трубок, можуть мати просту круглу форму; вертикальні сегменти можуть проходити між теплопередавальними трубками без необхідності в отворах. Крім того, сходова конструкція забезпечує економічно ефективне виробництво, при якому два або більше сегментів можуть бути зібрані заздалегідь перед встановленням до каталітичного теплообмінного реактора, причому складання двох сегментів може навіть являти собою, наприклад, просте згинання плоскої пластини. Кількість ступенів/сегментів перегородки може змінюватись та вибиратися в залежності від конкретного розміру реактора та технологічного способу, з урахуванням вартості та оптимального потоку змішаного газу та іншими факторами. В даному варіанті здійснення винаходу, щонайменше частина перегородок кріпиться до внутрішньої циліндричної оболонки 110, розташованого навколо центральної осі кожуха. В верхній частині внутрішня оболонка має випускні отвори 111, через які проходить змішаний газ, коли він досягає вершини спіралі, а подальший висхідний потік блокується верхнім трубним листом, щоб запобігти взаємодії змішаного газу з технологічним газом, що надходить. Через випускні отвори внутрішньої оболонки, прохолодний змішаний газ, що пройшов теплообмін виходить через верхній впускний кінець 105 (як показано на Фігурі 3) центральної трубки для змішаного газу 104. Центральна трубка для змішаного газу дозволяє змішаному газу виходити через нижній випускний кінець 106 в нижній частині каталітичного теплообмінного реактора. Таким чином, відпадає необхідність зовнішньої лінії передачі газу в реактор, яка займала б місце в установці та була б значно дорожчою, ніж внутрішня центральна труба для змішаного газу, оскільки зовнішня лінія передачі повинна мати з'єднання, ізоляцію, опори та мати товсту стінку, для того щоб витримувати повний тиск технологічного процесу. Крім того, "вартість" центральної трубки змішаного газу є відносно низькою з точки зору процесу теплообміну, оскільки центральна частина спірального висхідного потоку є найменш ефективною частиною круглого поперечного перерізу для теплообміну.

На Фігурі 2 показано той самий варіант виконання каталітичного теплообмінного реактора тільки не в ізометричному вигляді, а у частково розрізаному вигляді збоку. Характеристики такі ж, як і на Фігурі 1, але на цьому виді збоку краще видно, що в даному варіанті здійснення є дві перегородки у вигляді спіральних сходинок, оскільки в нижній частині пучка теплообмінних труб показані два горизонтальні сегменти перегородки, один з яких повернутий в поперечному перерізі на 180 градусів відносно іншого. Таким чином, в даному варіанті здійснення, змішаний газ тече двома спіральними висхідними потоками.

На Фігурі 3 у поперечному перерізі показана частина каталітичного теплообмінного реактора відповідно до одного з варіантів здійснення винаходу, що має ознаки, описані вище з посиланням на Фігуру 1 та Фігуру 2, а також деякі додаткові ознаки. Всередині кільцевої конструкції видно центральну трубку для змішаного газу, видно як є (крізь трубку), де верхня частина якої утворює верхній впускний кінець 105, як описано вище. Навколо центральної трубки змішаного газу видно внутрішню оболонку, що підтримує перегородки, як описано вище.

Простір між центральною трубою змішаного газу та внутрішньою оболонкою може бути заповнений теплоізоляцією. На цьому виді видно розташування теплопередавальних трубок.

Видно, що трубки деякою мірою розташовані зигзагоподібно, що змушує змішаний газ постійно змінювати напрямок при спіральному русі та покращує теплообмін. Однак таке розташування теплопередавальних трубок дозволяє розмістити вертикальні сегменти перегородки, яких в даному випадку вісім по всій круглій частині оболонки. Також, показаний ще одна зовнішня оболонка 112, а також обмежувальні пластини 113, розташовані на внутрішній стороні зовнішньої циліндричної оболонки, які обмежують потік змішаного газу від обходу теплопередавальних трубок на зовнішній периферії теплопередавальних трубок.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Каталітичний теплообмінний реактор для проведення ендотермічних або екзотермічних каталітичних реакцій, що містить:

кожух з циліндричним перерізом;

множину вертикальних теплопередавальних трубок, щонайменше частково заповнених каталізатором та розташованих всередині зазначеного кожуха, та через які проходить технологічний газ від верхнього кінця теплопередавальних трубок до нижнього кінця теплопередавальних трубок;

щонайменше один верхній впускний отвір для технологічного газу, що забезпечує проходження потоку технологічного газу до верхнього кінця теплопередавальних трубок;

щонайменше один нижній впускний отвір теплообмінного газу;

щонайменше один нижній випускний отвір змішаного газу;

верхню трубку решітку, виконану з можливістю використання як основи для множини теплопередавальних трубок;

множину перегородок, розташованих всередині кожуха під верхньою трубою решіткою, з отворами, виконаними з можливістю використання як основи для теплопередавальних трубок, причому перегородки містять набори горизонтальних та вертикальних сегментів, розташованих у вигляді спіральних сходів та виконаних з можливістю забезпечення проходження потоку змішаного газу, що містить теплообмінний газ, з нижнього впускного отвору для теплообмінного газу та риформованого газу, що входить з нижнього кінця теплопередавальних трубок, щонайменше в одному спіральному висхідному потоці всередині кожуха, навколо центральної трубки для змішаного газу та навколо зовнішньої сторони кожної з теплопередавальних трубок, де каталітичний теплообмінний реактор додатково містить центральну трубку для змішаного газу, розташовану вертикально в центрі кожуха з верхнім впускним отвором та нижнім випускним отвором, та виконану з можливістю забезпечення проходження потоку змішаного газу від верхньої частини щонайменше одного спірального висхідного потоку, що прилягає до нижньої сторони верхньої трубною решітки, до нижнього випускного отвору для змішаного газу.

2. Каталітичний теплообмінний реактор за п. 1, в якому каталітичний теплообмінний реактор є каталітичним теплообмінним реактором парового риформінгу вуглеводнів.

3. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-яким з попередніх пунктів, в якому множина перегородок розташована щонайменше в одній спіралі.

4. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-яким з попередніх пунктів, в якому множина перегородок розташована та виконана з можливістю забезпечення від 1 до 4 спіральних висхідних потоків, переважно двох спіральних висхідних потоків.

5. Каталітичний теплообмінний реактор за п. 3 або 4, в якому повний оберт на 360 градусів щонайменше одного спірального висхідного потоку включає від 2 до 16 комплектів перегородок, переважно 8 комплектів перегородок.

6. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-яким з попередніх пунктів, в якому вертикальна відстань між перегородками є меншою в верхній частині щонайменше одного спірального висхідного потоку, ніж в нижній частині щонайменше одного спірального висхідного потоку.

7. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-яким з попередніх пунктів, в якому вертикальна відстань між перегородками поступово зменшується від нижньої частини щонайменше одного спірального висхідного потоку до верхньої частини щонайменше одного спірального висхідного потоку.

8. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-яким з попередніх пунктів, в якому відстань по вертикалі між верхніми вертикально суміжними перегородками становить менше 500 мм, а відстань по вертикалі між найнижчими вертикально суміжними перегородками становить більше 600 мм.

9. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-яким з попередніх пунктів, в якому щонайменше

один спіральний висхідний потік виконує від 1 до 8 повних обертів на 360 градусів від нижньої частини до верхньої частини щонайменше одного спірального висхідного потоку.

10. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-яким з попередніх пунктів, в якому відстань між вертикальними теплопередавальними трубками ближче до центральної трубки змішаного газу менше, ніж до периферії кожуха.

11. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-яким із попередніх пунктів, в якому відстань між вертикальними теплопередавальними трубками поступово зменшується від найближчої периферії кожуха в напрямку до центральної трубки змішаного газу.

12. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-яким із попередніх пунктів, в якому відстань між вертикальними теплопередавальними трубками становить менше 50 мм поблизу центральної трубки змішаного газу та більше 100 мм поблизу периферії кожуха.

13. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-яким із попередніх пунктів, в якому вертикальні теплопередавальні трубки розташовані зигзагоподібно, якщо дивитися в тангенціальному напрямку кожуха.

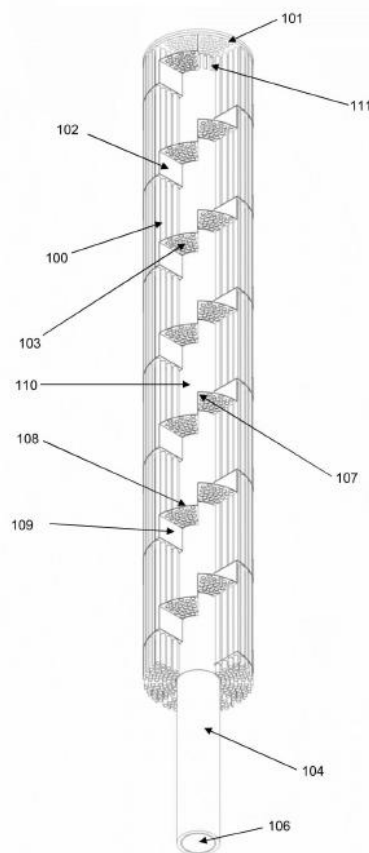
14. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-яким з попередніх пунктів, який додатково містить внутрішню оболонку, що оточує та прилягає до центральної трубки змішаного газу, закріплений на верхньому трубному листі та пристосований для підтримки щонайменше деяких з множини перегородок.

15. Каталітичний теплообмінний реактор за п. 14, в якому внутрішня оболонка має перфорацію.

16. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-яким із попередніх пунктів, що додатково містить зовнішню оболонку, розташовану в середині кожуха та прилягаючу до нього, та є виконаний з можливістю використання як основи щонайменше деяких перегородок.

17. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-якими з пп. 14-16, при цьому внутрішня оболонка або зовнішня оболонка, або внутрішня та зовнішня оболонки, містять пластини для обмеження потоку.

18. Каталітичний теплообмінний реактор за будь-яким з попередніх пунктів, де каталізатор містить частинки, а вертикальні теплопередавальні трубки мають внутрішній діаметр, який в 1-1,9 разів перевищує найбільший зовнішній розмір частинки каталізатора.



Фиг. 1

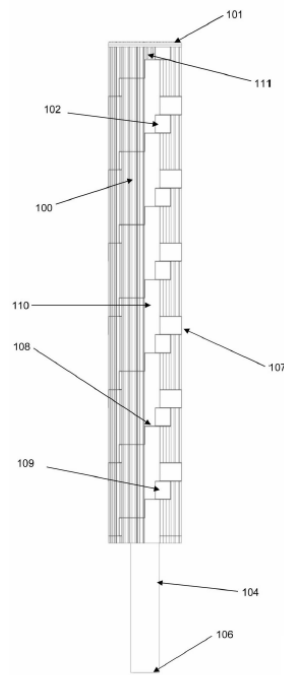


Fig. 2

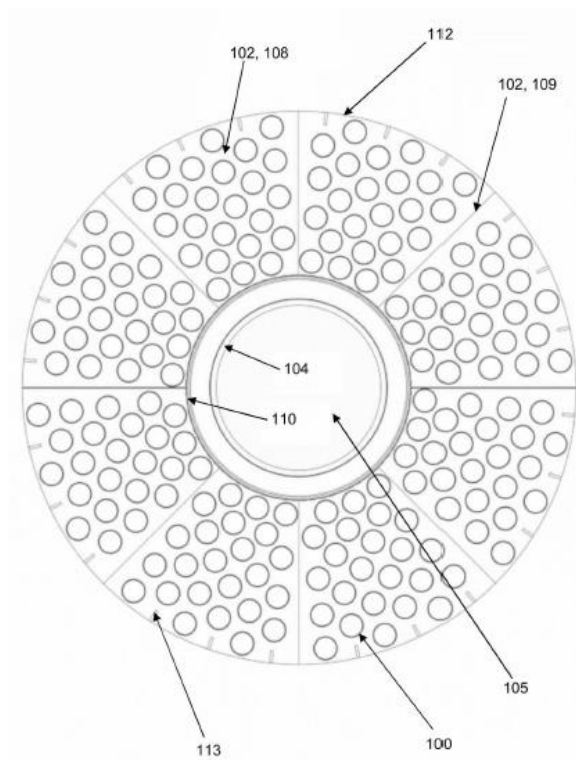


Fig. 3