



УКРАЇНА

(19) UA (11) 45503 (13) C2

(51) 6 C 10G9/00,9/36,F28D7/10

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ОТРИМАННЯ НИЖЧИХ ОЛЕФІНІВ, РЕАКТОР ДЛЯ ПІРОЛІЗУ ВУГЛЕВОДНІВ І АПАРАТ ДЛЯ ЗАГАРТУВАННЯ ГАЗІВ ПІРОЛІЗУ

1

2

(21) 2000084998

(22) 11 02 1999

(24) 15 04 2002

(86) PCT/RU99/00038, 11 02 1999

(31) 98104821

(32) 27 02 1998

(33) RU

(46) 15 04 2002, Бюл. № 4, 2002 р.

(72) Бушуєв Владімір Андреевич, RU

(73) КУЛБРУК ЛІМІТЕД, GB

(56) US, 4265732, A, 1981

US, 5271827, 1993 PCT,

WO 95/32263, 1995

(57) 1 Спосіб отримання нижчих олефінів піролізом вуглеводнів, що включає підігрівання і випаровування початкової сировини, її змішування з паром-розріджувачем, нагрівання суміші до температури піролізу в лопатковому реакторі, охолодження газів піролізу і подальше розділення їх, який **відрізняється** тим, що нагрівання суміші до температури піролізу проводять шляхом змішування з гарячими газами піролізу, циркулюючими в робочій порожнині лопаткового реактора, за час, нехтувально малий в порівнянні з тривалістю реакції піролізу

2 Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що підігрівання сировини і пара-розріджувача здійснюють у два етапи, при цьому на другому етапі підігрівання здійснюють в теплообміннику за рахунок утили-

зації теплоти, що міститься в газах піролізу, що виходять з лопаткового реактора

3 Реактор для піролізу вуглеводнів, що містить корпус з направляючими лопатками і патрубками для підведення сировини і відведення газів піролізу і робоче колесо з лопатковим вінцем, який **відрізняється** тим, що в корпусі виконана кільцева порожнина для циркуляції гарячих газів піролізу, що містить направляючі лопатки і що охоплює по периферії лопатковий вінець робочого колеса, а патрубки для підведення сировини і відведення газів піролізу сполучаються з вказаною порожниною

4 Реактор за п. 3, який **відрізняється** тим, що корпус складається з кожуха і скріпленої з ним внутрішньої жароміцної оболонки, при цьому кожух зсередини покритий теплоізоляцією

5 Апарат для загартування газів піролізу, що містить теплообмінник, що має розділені стінкою об'єми середовищ, що охолоджуються і нагріваються, який **відрізняється** тим, що він забезпечений трійником і струменевим ежектором, що складається з сопла, приймальної камери і камери змішування, причому камера змішування ежектора і один з патрубків трійника сполучені з об'ємом середовища, що охолоджується, а приймальна камера ежектора сполучена з іншим патрубком трійника

Винахід відноситься до нафтохімічної промисловості, конкретно до отримання нижчих олефінів термічним піролізом вуглеводнів

У цей час термічний піроліз вуглеводнів є основним способом промислового виробництва нижчих олефінів - етилену і пропілену. Сировиною служать вуглеводні з двома або більше атомами вуглецю в молекулі. В промисловості звичайно використовують гази нафтопереробки, а також бензинові і газойлеві фракції нафти

За загальноприйнятою технологією випаровування і змішану з водяною парою сировину подають в піротрубу, розміщену в радіаційній камері печі пі-

ролізу, де суміш швидко нагрівають. Реакції піролізу протікають з великим поглинанням тепла. Гази піролізу, що мають на виході з піротруби температуру 750-950°C, охолоджують і відправляють в газофракціонуючу установку, де з них виділяють етилен, пропілен, бутадієн, метан, водень і інші продукти піролізу. Найбільш цінним з продуктів піролізу є етилен

При піролізі вуглеводнів завжди виділяється провуглець, що виноситься частково з потоком газів у вигляді сажі, а частково створює відкладення коксу на стінках піротруб і розташованих нижче по потоку апаратів. Відкладення коксу збільшують

(13) C2

(11) 45503

(19) UA

перепад тиску в піротрубах і погіршує теплопередачу в зону реакції, що приводить до перегріву піротруби, зниження продуктивності піролізної установки і виходів нижчих олефінів. Тому відкладення коксу періодично видаляють, звичайно випалюючи їх повітрям або парово-повітряною сумішшю.

Серед реакцій - термічного піролізу можна виділити первинні, що ведуть до утворення олефінів, і вторинні, при яких олефіни, що утворилися витрачаються. З підвищенням температури прискорюються як первинні, так і вторинні реакції, але швидкість первинних реакцій росте швидше, ніж швидкість вторинних реакцій. Швидкість первинних реакцій не залежить від тиску, тоді як швидкість вторинних реакцій знижується із зменшенням тиску.

Тому вихід олефінів прагнуть підвищити зниженням парціального тиску вуглеводнів в зоні реакції, а також підвищенням температури піролізу у вказаних межах. Парціальний тиск вуглеводнів в зоні реакції знижують введенням паророзріджувача. Оптимальна кількість паророзріджувача залежить від вигляду вуглеводневої сировини. Для легких видів сировини, етану і пропану, подача водяної пари звичайно становить 20-40% від маси сировини. Для важких видів сировини - газойлей подача водяної пари може дійти до 80-100% від маси сировини. Підвищення температури піролізу понад 950-1000°C небажано, тому що різко прискорює коксоутворення, а також приводить до зростання виходу ацетилену, що є менш цінним продуктом, за рахунок зниження виходу етилену.

Серед недоліків промислових трубчастих піролізних установок можна виділити наступні:

а) необхідність передачі великих кількостей тепла в зону реакції через стінки піротруби. У зв'язку з великими тепловими потоками температура стінки піротруби набагато перевищує температуру реагуючої середовища, що сприяє інтенсивному коксуванню і знижує вихід цільових продуктів. Тиск в зоні піролізу не може бути знижений в зв'язку з необхідністю забезпечення високих швидкостей рушення сировини через цю зону, необхідних по умовах теплопередачі.

б) недостатня швидкість нагріву сировини в піротрубах, через яку початкові кількості олефінів, що утворилися при відносно низьких температурах, переміщаючись разом з потоком сировини у все більш нагріті зони, зайво довго знаходяться в умовах інтенсивного протікання вторинних реакцій. Особливо сильно цей недолік виявляється при піролізі широких нафтових фракцій, таких як нафта і газойль, що містять як важкі вуглеводні, що легко розпадаються, так і легкі вуглеводні, що розпадаються при більш високих температурах.

У патенті США 5300216 (МПК C10G9/36, опубл. 1994) описані метод і установка для термічного піролізу вуглеводнів в присутності водяної пари в стаціонарній ударній хвилі високої інтенсивності. Перегрів в трубчастій печі до температури біля 1000°C водяна пара під тиском біля 27 ата через надзвукове сопло подається в реактор, що включає послідовно розташовані зони змішення і піролізу. У зоні змішення в надзвуковий потік пари через змішувачі подається підігріта приблизно до

627°C вуглеводнева сировина - етан. Суміш, що утворюється має надзвукову швидкість і температуру, недостатню для початку реакцій піролізу. Між зонами змішення і піролізу розташовується прямий стрибок ущільнення стаціонарна ударна хвиля, в якій кінетична енергія надзвукового потоку перетворюється в теплоту. За стрибком ущільнення суміш придбає дозвукову швидкість і температуру біля 1000°C при тиску біля 9 ата. Реагуюча суміш проходить зону піролізу за 0,005-0,05сек, при цьому її температура знижується приблизно до 863°C за рахунок поглинання теплоти реакціями піролізу. Конверсія етану в етилен досягає 70%. Продукти піролізу поступають в гартувальний апарат і подальші теплообмінники, а потім на газорозділення. У цій установці усунені всі вказані вище недоліки трубчастих печей піролізу. Максимальна температура піролізу досягається сировиною гранично швидко, а стінки реакційної зони не використовуються для передачі тепла в цю зону. Однак подача водяної пари по відношенню до маси вуглеводню повинна складати біля 500-667%. В зв'язку з цим енергетичні витрати по відношенню до етилену, що отримується, надмірно високі і не можуть бути істотно зменшені. Це робить установку неконкурентоздатною при сучасному співвідношенні цін на енергію і олефіни.

У патенті США 4426278 (МПК C10G9/14, опубл. 1984) описана трубчаста пічна установка, що містить перегрівник пара, пристрій для змішування перегрітого пара з вуглеводнем і піротрубу, розміщену в радіаційному блоці. Поступаючий з перегрівника пар з температурою 1000-1500°C змішується з вуглеводневою сировиною, при цьому суміш відразу придбає температуру, достатню для початку реакцій піролізу. Піроліз продовжують за рахунок підведення тепла через стінки піротруби. У цій конструкції частково усунений недолік (б). Однак при температурі водяної пари 1100°C його подача по відношенню до маси вуглеводню повинна становити 185-275%, а при температурі 1430°C біля 120%. Отримання водяної пари такої високої температури надто ускладнене, а необхідні енергетичні витрати надмірно високі.

У патенті США 3579601 (МПК C07C3/08, C10G9/20, 9/14, опубл. 1971) описана трубчаста пічна установка, в якій сировина подається в піротрубу в декількох точках, що розосередилися по її довжині. Сировина, що вводиться відразу придбає температуру, достатню для початку реакції піролізу, за рахунок практично миттєвого змішування з гарячими газами піролізу, що поступають з вище розташованої дільниці піротруби. Піроліз продовжують за рахунок підведення тепла через стінки піротруби. Винахід частково усуває недолік (б), а недолік (а) залишається. Підвищуються виходи олефінів і інших ненасичених сполук, меншає коксовідкладення і знижується утворення метану. Недоліком є ускладнена конструкція піротруби, що утрудняє її розміщення в радіаційній камері печі піролізу.

В авторському свідоцтві СРСР 1189871 (МПК C10G9/00, опубл. 1985) описаний спосіб термічного піролізу прямогонного бензину і газойлей. Сировину розділяють на декілька фракцій з інтервалами кипіння шириною 20-40°C, і отримані

вузькі фракції піддають піролізу в окремих піротрубах при оптимальному для кожної фракції температурному режимі. Спосіб дозволяє пом'якшити недолік (б), при цьому підвищуються виходи нижчих олефінів і знижується коксоутворення. Однак реалізація цього способу вимагає істотного ускладнення конструкції радіаційної камери печі в зв'язку з необхідністю підтримки індивідуальних температурних режимів для декількох піротруб в умовах неперервного співвідношення витрат сировини в них.

У патенті США 4265732 (МПК C10G9/00, опубл. 1981) описаний спосіб термічного піролізу газоподібної вуглеводневої сировини в реакторі, виконаному у вигляді осьової багатоступінчастої лопаткової машини (прототип способу і реактора). Тепло, необхідне для піролізу, виділяється безпосередньо в об'ємі реагуючого газу при гідродинамічному гальмуванні лопаток ротора, що обертається приводом. Цим повністю усувається недолік (а). Однак недолік (б) не усунений. Необхідна для здійснення способу багатоступінчаста осьова лопаткова машина, здатна працювати при температурах піролізу вуглеводнів, не була створена.

У патенті США 5271827, (МПК C10G9/14, C07C4/04, опубл. 1993) описана трубчаста пічна піролізна установка, забезпечена адиабатичним трубчастим реактором, встановленим між виходами піротруб і входом в гартувальний-випарний апарат. Піроліз в адиабатичному трубчастому реакторі відбувається за рахунок внутрішньої теплоти реагуючої середовища без підведення тепла ззовні. Застосування адиабатичного трубчастого реактора дозволяє економити енергію, що затрачується на піроліз.

Засоби гартувального охолодження газів, що виходять з реактора піролізу до температури припинення реакцій є необхідною складовою частиною піролізних установок. Гартувальне охолодження може бути пряме - інжекцією пара, води або легкої смоли піролізу в потік газів піролізу, і посереднє, з використанням теплообмінного апарату. Звичайно пряме охолодження застосовують при піролізі газойлей. При піролізі легкої вуглеводневої сировини звичайно застосовують посереднє охолодження в гартувально-випарних апаратах, що виробляють пару високого тиску.

У заявці РСТ WO 95/32263 (МПК C10G9/20, опубл. 1995) запропонований апарат для загартування газів піролізу, що має розділені стінкою об'єми, в одному з яких рухаються гази піролізу, що охолоджуються, в іншому знаходиться кипляча вода (прототип апарату). Гази піролізу, що охолоджуються, рухаються по трубках. У зв'язку з малим діаметром трубок апарати такого типу створюють великий опір потоку і чутливі до закоксовування. Звичайно перепад тиску в очищеному апараті складає не менше за 0,02-0,03 МПа, а в закоксованому до 0,07 МПа і вище, що підвищує тиск в розташованому вище по потоку реакторі піролізу і, тим самим, знижує вихід олефінів. Можна було б зменшити перепад тиску в апараті, збільшуючи діаметр теплообмінних трубок, але таке рішення неприпустиме, оскільки привело б до зниження швидкості гартувального охолодження.

Задачею винаходу є створення способу отримання нижчих олефінів термічним піролізом вуглеводнів, реактора для піролізу вуглеводнів і апарату для загартування газів піролізу, що сплужать для здійснення цього способу, в цьому способі.

б) нагрів вуглеводневої сировини до температури піролізу проводиться за час, нехтувально малий в порівнянні з тривалістю реакції піролізу, в кількості пара-розріджувача, що додається по відношенню до ваги вуглеводневої сировини не перевищує звичайних в існуючих піролізних виробництвах меж.

Першим з групи винаходів є спосіб отримання нижчих олефінів піролізом вуглеводнів, що включає підігрівання і випаровування початкової сировини, її змішування з паром-розріджувачем, нагрів суміші до температури піролізу в лопатковому реакторі теплом, що генерується в об'ємі суміші за рахунок гідродинамічного гальмування лопаток, що обертаються в ній, охолодження газів піролізу і подальше розділення їх, при цьому нагрів суміші до температури піролізу проводять шляхом змішування з гарячими газами піролізу, циркулюючими в робочій порожнині лопаткового реактора, за час, нехтувально малий в порівнянні з тривалістю реакції піролізу.

Підігрівання сировини і пара-розріджувача можна призначувати двома етапами, при цьому на другому етапі підігрівання виготовляють в теплообміннику за рахунок утилізації теплоти, що міститься в газах піролізу, що виходять з лопаткового реактора.

Спосіб, в порівнянні зі способом по патенту США № 4265732 дозволяє збільшити вихід олефінів за рахунок миттєвого нагріву суміші її з гарячими газами піролізу циркулюючими в робочій порожнині лопаткового реактора. Використання теплоти газів піролізу, що виходять з лопаткового реактора, для підігрівання сировини і пара-розріджувача, що поступає в реактор, дозволяє спростити конструкції теплообмінного апарату за рахунок зменшення різниці тиску в порожнинах серед, що нагріваються і що охолоджуються і зменшує витрати енергії на проведення процесу.

Другим з групи винаходів є реактор для піролізу вуглеводнів, що містить корпус з направляючими лопатками і патрубками для підведення сировини і відведення газів піролізу і робоче колесо з лопатковим вінцем, при цьому в корпусі виконана кільцева порожнина для циркуляції гарячих газів піролізу, що містить направляючі лопатки і що охоплює по периферії лопатковий вінець робочого колеса, а патрубки для підведення сировини і відведення газів піролізу сполучаються з вказаною порожниною.

Корпус реактора може складатися з кожуха і скріпленої з ним внутрішньої жароміцної оболонки, при цьому кожух може бути зсередини покритий теплоізоляцією.

Реактор, на відміну від реактора по патенту США 4265732, дозволяє проводити нагрів суміші сировини і пара-розріджувача практично вміть до максимальної температури піролізу шляхом змішування її з гарячими газами піролізу, що дозволяє отримати більш високі виходи нижчих олефінів.

нів. Ще однією перевагою цього реактора є більш проста конструкція, що допускає можливість виконання його в одноступінчатому варіанті з використанням матеріалів, відомих в цей час в техніці.

Третім з групи винаходів є апарат для загартування газів піролізу, який містить теплообмінник, що має розділені стінкою об'єми середовищ, що охолоджується і що нагрівається, забезпечений трійником і струминним ежектором, що складається з сопла, приймальної камери і камери змишення, причому камера змишення ежектора і один з патрубків трійника сполучені з об'ємом середовища, що охолоджується, а приймальна камера ежектора сполучена з іншим патрубком трійника.

При такій конструкції апарату для загартування газів піролізу короткий час загартування поєднується з малим перепадом тиску в гартувальний апарат. Цим досягається зменшення тиску в розташованому вище по потоку реакторі і сприяє досягненню загальної мети - збільшенню виходів олефінів.

На фігурі 1 показана схема установки для реалізації способу отримання нижчих олефінів.

На фігурі 2 показаний в розрізі реактор для піролізу вуглеводнів.

На фігурі 3 показаний перетин по лінії А-А фігури 2.

На фігурі 4 показана в розрізі радіальна робоча лопатка для реактора.

На фігурі 5 показаний вигляд по стрілці В фігури 4.

На фігурі 6 показаний в розрізі апарат для загартування газів піролізу.

Переважні варіанти втілення винаходів

Установка для реалізації способу (фіг. 1) включає підігрівач 1, апарати для загартування газів піролізу 2 і 3, реактор 4, газотурбінний двигун 5, сполучений з реактором 4 валом і з підігрівачем 1 вихлопним патрубком 7.

Підігрівання сировини і пара-розріджувача на першому етапі здійснюють в підігрівачі 1. Вуглеводневу сировину від зовнішнього джерела під тиском (на кресленні не показаний) подають в підігрівач 1, виконаний у вигляді кожухотрубного теплообмінника, в міжтрубний простір якого подають вихлопні гази газотурбінного двигуна 5. В підігрівач 1 подають також воду від зовнішнього джерела під тиском (на кресленні не показаний) для випаровування і змішування з сировиною.

Підігрівання сировини і пара-розріджувача на другому етапі здійснюють в апаратах для загартування газів піролізу 2 і 3 за рахунок утилізації теплоти газів піролізу, що виходять з реактора. Детальніше апарат для загартування газів піролізу описаний нижче.

З апаратів для загартування газів піролізу 2 і 3 суміш сировини з паром-розріджувачем подають в лопатковий реактор 4. В робочій порожнині реактора циркулюють гарячі гази піролізу, при цьому необхідне для піролізу тепло генерується безпосередньо в об'ємі газу за рахунок гідродинамічного гальмування робочого колеса, що обертається з лопатками. Нагрів суміші до температури піролізу проводять шляхом змішування її з гарячими газами піролізу за час, нехтувально малий в порівнянні з тривалістю реакції піролізу. Детальніше констру-

кція реактора описана нижче.

З'єднувальні трубопроводи, по яких гази піролізу подаються від реактора 4 до апаратів для загартування газів піролізу 2 і 3, мають плавні контури, що запобігають утворенню зон відриву потоку. Всі з'єднувальні трубопроводи мають однакові об'єми.

Гази піролізу охолоджують в апаратах для загартування газів піролізу 2 і 3, а потім направляють в газофракціонуючу установку (на кресленні не показана). Хоч на фігурі 1 зображені два апарати для загартування газів піролізу, при реальному здійсненні винаходу кількість таких апаратів не обмежується.

Приводом реактора служить газотурбінний двигун 5. Зображений газотурбінний двигун простого термодинамічного циклу, без проміжних підігрівачів і охолоджувачів робочого тіла. Як привід можуть бути використані також газотурбінні двигуни, працюючі по більш складному циклу, і також парові турбіни і електродвигуни.

Кількість води, що змішується з вуглеводневою сировиною, і допустима остаточна температура підігрівання залежать від складу сировини. Якщо сировиною є нормально газоподібні вуглеводні, можна додавати до 30-40% води по відношенню до ваги вуглеводню, при цьому температура суміші після другого підігрівання не повинна перевищувати 650°C. При використанні як сировини нормально рідких вуглеводнів, таких як нафта або газойлі, можна додавати до 80-100% води по відношенню до ваги вуглеводню, при цьому температура суміші після другого підігрівання не повинна перевищувати 550-600°C.

Основні параметри, що визначають роботу реактора, пов'язані між собою співвідношенням

$$t = V \cdot d \cdot x \cdot H / P,$$

де t - середній час перебування реагуючої середовища в робочому об'ємі реактора, а V - робочий об'єм реактора, м³, d - середня щільність реагуючої середовища в робочому об'ємі реактора, кг/м³, H - енергія, що передається реагуючій середі в робочому об'ємі реактора, Дж/кг, P - потужність, що передається в робочий об'єм реактора, Вт.

Енергія, яка повинна бути передана середовищу в робочому об'ємі реактора, близька до кількості тепла, що передається середовищу в радіаційних секціях існуючих трубчастих пічних піролізних установок при тих же видах сировини. При піролізі етану ця енергія повинна становити приблизно 2,5-3,4 МДж на кілограм суміші сировини з паром-розріджувачем. При піролізі інших видів вуглеводневої сировини ця енергія повинна становити приблизно 1,7-2,3 МДж/кг.

Середній час перебування реагуючої середовища в робочому об'ємі реакторі може становити орієнтовно 0,03-0,1с.

Час, за який поступаюча в реактор суміш сировини з паром-розріджувачем нагрівається до температури піролізу, визначається часом змишення її з реагуючою середою і не перевищує 0,001с. Він нехтувально малий в порівнянні з середнім часом перебування реагуючої середовища в робочому об'ємі реактора.

Середня щільність реагуючої середовища визначається середнім тиском, середньою темпера-

турою в робочому об'ємі реактора і середньою молекулярною вагою реагуючої середовища

Середній тиск в робочому об'ємі реактора може становити 0,5-2 ата, переважно 0,8-1,2 ата

Середня температура газів в робочій порожнині реактора залежить від вигляду сировини, заданої конверсії і часу перебування в зоні реакції. Легкі види сировини і високі конверсії вимагають великих температур, а важкі види сировини, такі як атмосферний і вакуумний газойлі, і низькі конверсії - менших температур

Оператор задає температуру газів в робочій порожнині реактора і витрати вуглеводневої сировини і води для отримання пари розбавлення. Задана температура підтримується системою автоматичного управління, регулюючою витрату паливного газу, що поступає в газотурбінний двигун. Таким чином, температура в зоні реакції в установці регулюється в принципі так само, як це робиться в існуючих пічних трубчастих установках зміною відношення витрати паливного газу до витрати сировини. Відмінність полягає в тому, що перехідні процеси в установці завершуються в 10-100 раз швидше

Щоб видалити кокс з реактора і апаратів для загартування газів піролізу, необхідно припинити подачу вуглеводневої сировини в підігрівач 1. Температура в робочій порожнині реактора повинна підтримуватися приблизно рівній температурі при піролізі. Внаслідок реакцій газифікації перегрітий пар видаляє відкладення коксу з реактора 4, з'єднувальних трубопроводів і з апаратів для загартування газів піролізу 2 і 3. Середовище, що виходить, направляють в установку для допалювання (на кресленні не показана). За процесом декоксування спостерігають, проводячи хімічний аналіз середовища, що виходить. Коли вміст окислу і двоокису вуглецю падає до заздалегідь встановленої величини, декоксування припиняють, для чого відновлюють подачу вуглеводневої сировини. Перевагами такого випалювання в порівнянні з повтряним або парово-повтряним випалюванням є ендотермічність виникаючих реакцій, усуваюча небезпеку локальних перегрівів конструкційних матеріалів, а також збереження відновної атмосфери всередині реактора при всіх режимах його роботи. Це дозволяє використати для виготовлення найбільш відповідальних деталей реактора жароміцні сплави на основі тугоплавких металів, нестійкі в окислювальній атмосфері, наприклад, сплави вольфраму, молібдену і ніобію

У способі піролізу сировини відбувається поспідовно в робочій порожнині реактора, а потім в з'єднувальних трубопроводах, ведучих до апаратів для загартування газів піролізу, при цьому гідродинамічний режим робочої порожнини реактора близький до режиму апарату ідеального змішення, і концентрації реагуючих речовин у всьому її об'ємі однакові. Цим спосіб істотно відрізняється як від того, що реалізовується в звичайних трубчастих реакторах, так і від способу за патентом США №4265732

Оскільки піроліз в робочому об'ємі реактора ведеться при значній концентрації продуктів, прискорюючих реакції піролізу (явище автокаталізу), ці реакції відбуваються з більшою швидкістю або

вимагають для свого проведення меншої температури, що підвищує селективність процесу. Це підтверджується експериментальними даними по піролізу сировини в присутності гарячих газів піролізу, приведеними в патенті США № 3579601

У з'єднувальних трубопроводах піроліз протікає адиабатичне, без підведення тепла ззовні. Гідродинамічний режим тут, як і в трубчастих реакторах піролізу, близький до режиму апаратів ідеального витіснення. Наявність адиабатичної дільниці дозволяє економити енергію, що затрачується на проведення процесу піролізу, а також збільшити виходи олефінів

Реактор для піролізу вуглеводнів (фіг. 2 і 3) містить корпус, що включає кожух 8 з кришками 9 і 10. Внутрішні поверхні кожуха 8 і кришок 9 і 10 покриті теплоізоляцією 11, 12 і 13. Корпус включає також жароміцну оболонку, утворену деталлю 14, скріпленою з кожухом 8, і деталями 15 і 16, скріпленими з кришками 9 і 10. До деталі 14 кріпляться направляючі лопатки 17 і 18. До деталей 15 і 16 кріпляться направляючі лопатки 19 і 20. Кожух 8 забезпечений патрубками для підведення сировини 21 і патрубками для відведення газів піролізу 22. Ротор складається з вала 23 і робочого колеса 24 з робочими лопатками 25, створюючими лопатковий вінець робочого колеса 24. Вал 23 спирається на радіальний 26 і радіально-наполюєвий 27 підшипники і ущільнений подвійними лабіринтними ущільненнями 28 і 29, в порожнині яких подається пара від зовнішнього джерела (на кресленні не показаний)

Кожна робоча лопатка (фіг. 4 і 5) має хвостовик 30, який служить для її кріплення в ободі робочого колеса 24 замком типу ластівчиний хвіст. У лопатці 25 виконані радіальні канали 31 для пропуску суміші сировини з паром-розріджувачем, що виконує функції охолоджуючого середовища

Реактор працює таким чином. З патрубків для підведення сировини 21 суміш випарованої сировини і пара-розріджувача поступає в зазор між кожухом 8 і жароміцною оболонкою і далі по каналах, виконаних в робочому колесі 24 і робочих лопатках 25, поступає в кільцеву порожнину, що містить робочі лопатки і направляючі лопатки 17, 18, 19 і 20. Середовище, що знаходиться в кільцевій порожнині взаємодіє почергово з робітниками і нерухомими направляючими лопатками, при цьому лінії струму мають вигляд двох спіралей, згорнутих в праве і ліве вихрові кільця. Таким чином, виникають два контури циркуляції газів піролізу, що сполучаються між собою. Поглинання тепла за рахунок ендотермічної реакції, що безперервно відбувається у всьому об'ємі реактора, компенсується притоком тепла за рахунок перетворення кінетичної енергії середовища в теплову

Потужність, що передається в контур циркуляції, пропорційна твору окружної швидкості ротора, меридіональної швидкості середовища і щільності середовища. Із збільшенням меридіональної швидкості середовища потужність, що передається ротором, росте доти, доки ця швидкість не досягне 0,4-0,7 від швидкості звуку в цьому середовищі або, орієнтовно, 400-500 м/с. При більш високих меридіональних швидкостях, в зв'язку із зменшенням середньої по висоті лопатки щільнос-

ті середовища, потужність, що передається від ротора в реакційну зону, різко знижується. Пов'язане це з тим, що в ядрі вихрового кип'яця тиск нижче, ніж на його периферії, причому це зниження залежить від меридіональної швидкості середовища.

При кожному проході через робочі лопатки середовище отримує додаткову кінетичну енергію, яка за час до наступного проходу перетворюється в тепло, частково при проходженні середовища через стаціонарні стрибки ущільнення, виникаючі в місцях локального переходу течії через швидкість звуку, а частково в результаті вихроутворення. Додаткова кінетична енергія пропорційна добутку окружної швидкості ротора і меридіональної швидкості середовища. Наприклад, при окружній швидкості ротора 300–400 м/с ця енергія може складати біля 70–150 кДж/кг. Кожна частка сировини за час її перебування в контурі циркуляції повинна в середньому пройти через робочі лопатки ротора декілька десятків разів.

Перевагою реактора в порівнянні з існуючими трубчастими реакторами піролізу є те, що стінки, що обмежують реакційний об'єм, не використовуються для підведення тепла в реакційну зону. Тому, при відсутності охолодження, їх температура може лише трохи відрізнятись від температури реагуючого середовища. Менші, ніж в існуючих трубчастих реакторах піролізу, температура стінок і тиск в зоні реакції дозволяють чекати підвищення селективності процесу і збільшення виходів цільових продуктів піролізу при тих же видах сировини. Короткий час запуску установки і можливість повної автоматизації управління режимом її роботи також сприяють збільшенню виходів цільових продуктів.

Апарат для загартування газів піролізу (фиг. 6) містить теплообмінник типу «труба в трубі», що включає зовнішню трубу 32 і внутрішню трубу 33, патрубкі підведення 34 і відведення газів піролізу, патрубки підведення 36 і відведення 37 охолоджуючого середовища, що сполучаються із зазором між трубами, і струменевий ежектор, що включає сопло 38, приймальну камеру 39 і камеру змішення 40. Сопло 38 сполучене з патрубком підведення газів піролізу 34. Внутрішня труба 33 одним з кінців сполучена з камерою змішення 40, а іншим кінцем через трійник 41 сполучена з приймальною камерою 39 і патрубком відведення газів піролізу 35. Зовнішні поверхні апарату покриті теплоізоляцією 42.

Поступаючи з патрубка 34 гарячі гази піролізу формуються соплом 38 в струмінь, який підсмоктує охолоджені гази, що знаходяться в приймальній камері 39. Переміщуючись по внутрішній трубі 33, ця суміш охолоджується, віддаючи своє тепло середовищу, що протікає в зазорі між зовнішньою 32 і внутрішньою 33 трубами у напрямі від патрубка 36 до патрубка 37. Частина охолодженої суміші поступає в приймальну камеру 39, а частина виводиться з апарату через патрубок 35.

Охолоджені гази, що виходять через патрубок піролізу можуть мати температуру приблизно 350–450°C. Масова витрата суміші у внутрішній трубі приблизно в 2–2,5 разу перевищує витрату

продуктів піролізу, що поступають з реактора, при цьому суміш, що утворюється в камері змішення 40, може мати температуру біля 620–660°C.

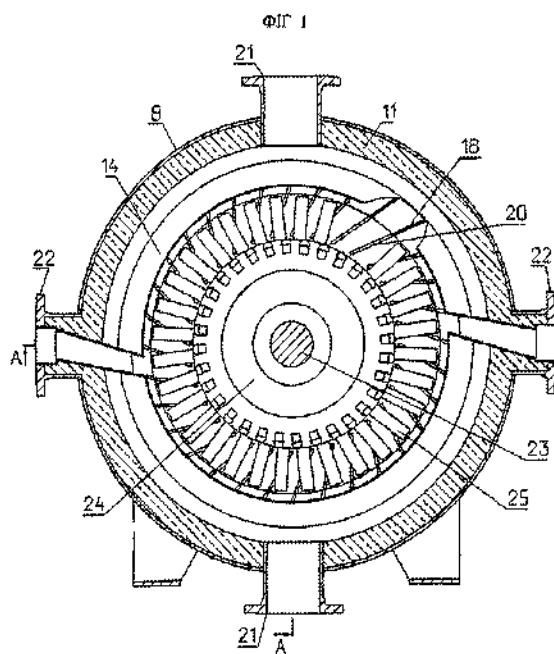
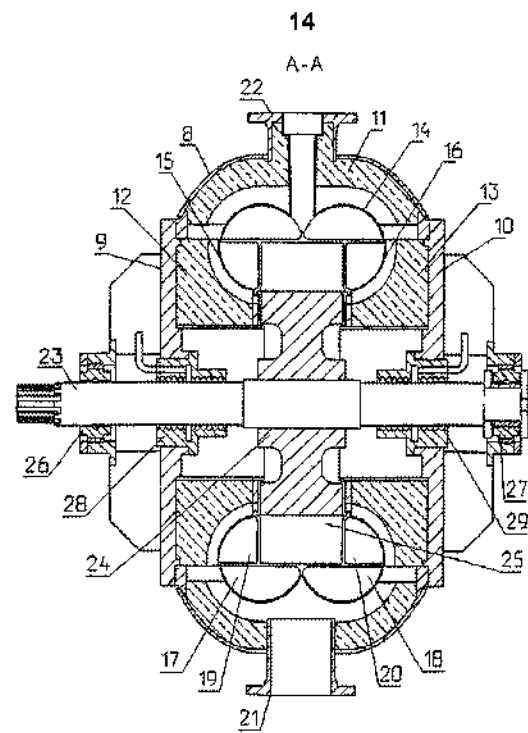
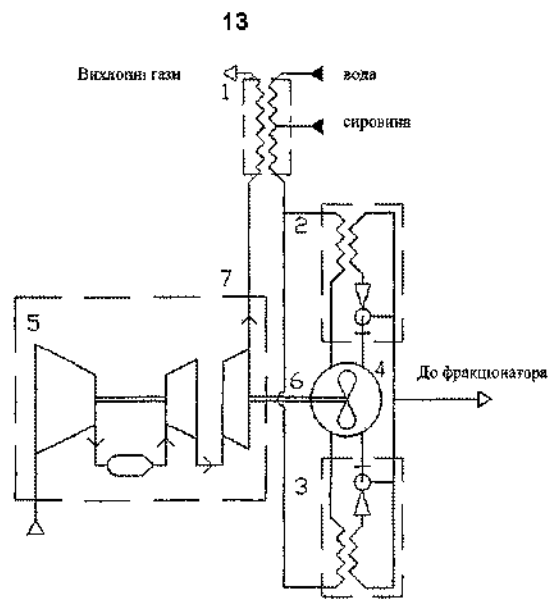
Тривалість гартувального охолодження продуктів піролізу визначається тільки часом змішення струменя, що формується соплом 38, з охолодженими газами в камері змішення 40 і становить декілька мілісекунд. Діаметр внутрішньої труби 33 повинен вистачати для того, щоб вона не створювала значних перепадів тиску.

Теплообмінник в складі апарату для загартування газів піролізу не обов'язково повинен мати конструкцію «труба в трубі». Низькі і близькі за величиною, тиск середовищ, що нагрівається і що охолоджується дозволяє також застосовувати пластинчаті або інші теплообмінники, що мають менші масу і вартість в порівнянні із звичайними, гартувально-випарними апаратами, що застосовуються.

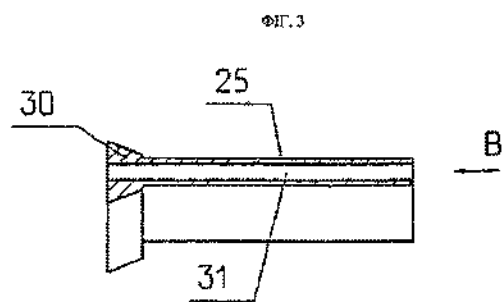
Винахід призначений для використання замість пічних піролізних установок в і етиленових виробництвах, що знову створюються, і що модернізуються. Склад продуктів піролізу, що отримуються способом, трохи відрізняється від складу продуктів, що отримуються на існуючих пічних установках при тих же видах сировини. Тому його використання практично не вимагало б змін газофракціонуючих установок.

В установках можна використати маючи малі габаритні розміри газотурбінні двигуни без проміжних підігрівачів і охолоджувачів робочого тіла. Коефіцієнт корисної дії таких двигунів становить звичайно 26–35% при температурі вихлопних газів 400–500°C. У переважних зразків таких двигунів коефіцієнт корисної дії може становити 42% при температурі вихлопних газів 570°C. Висока температура вихлопних газів дозволяє ефективно використати їх теплоту для випаровування і підігрівання сировини, отримання пара-розріджувача, а також перегріти пари в кількості, достатній для приведення в дію компресорів газофракціонуючих установок. Як паливо можна використати природний газ, а також метано-водневу фракцію, що виділяється з продуктів піролізу на газофракціонуючій установці. Шум, що створюється газотурбінними двигунами, не перевищує шуму, що створюється акустичними пальниками печей піролізу. Для видалення вихлопних газів газотурбінних двигунів можна використати димари, аналогічні тим, які звичайно застосовують на пічних установках. Для піролізної установки продуктивністю по вуглеводневій сировині біля 80000 тонн в рік був би потрібен газотурбінний двигун потужністю біля 8–12 МВт. Такі двигуни серійно випускаються і призначені для тривалої роботи в режимах постійного навантаження на газокompресорних станціях магістральних газопроводів. Повний ресурс таких двигунів може досягати 100000 годин.

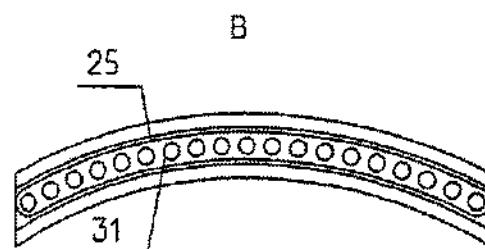
При розробці реакторів піролізу доцільно використати матеріали, виробничий досвід і технології, що застосовуються заводами-виготовниками газотурбінних двигунів. Якщо реактори і газотурбінні приводи до них будуть вироблятися на одному і тому ж заводі, піролізні установки можна буде монтувати на єдиній рамі у вигляді компактних агрегатів повної заводської готовності.



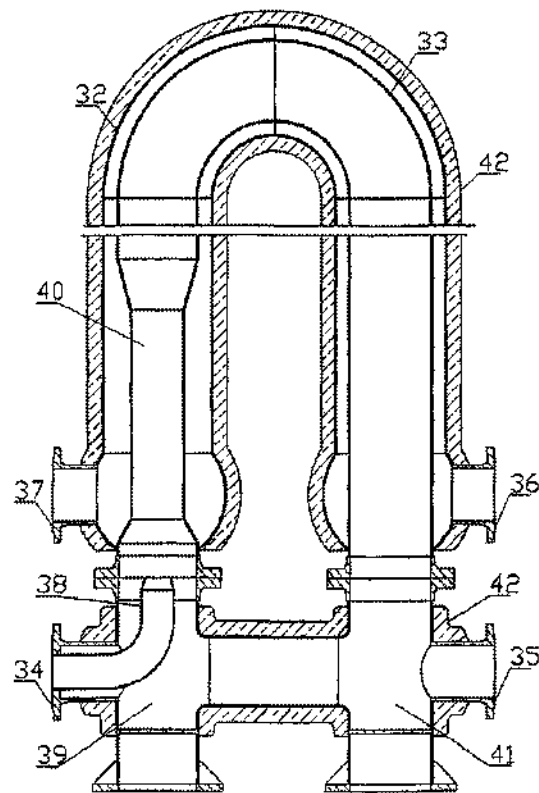
ФИГ. 2



ФИГ. 4



ФИГ. 5



ФІГ 6

ДП «Український інститут промислової власності» (Укрпатент)
вул. Сим'ї Хохлових, 15, м. Київ, 04119, Україна
(044) 456 – 20 – 90

ТОВ «Міжнародний науковий комітет»
вул. Артема, 77, м. Київ, 04050, Україна
(044) 216 – 32 – 71