

Винахід належить до галузі енергетики і може застосовуватись для спалювання палива в теплоенергетичних установках і, зокрема, стосується пристроїв для генерації плазмового струменя, посиленого магнітним полем.

Винахід спрямований на вирішення проблеми ефективного використання вуглеводневих ресурсів та високого вмісту забруднюючих речовин в існуючих технологіях спалювання, зокрема, використання як палива необробленого біогазу з метантенку та очищених від нерозчинених домішок і волокон, незаражених стічних вод.

Відомий плазмовий пальник [Патент CN 219222419 U, опубл. 20.06.2023, кл F23D 14/02], що містить корпус пальника, кільце анода і катодний стрижень, корпус пальника функціонує як камера згоряння і має впускні отвори для повітря та палива, розпилювач стисненого повітря, який також підключений до водопроводу, вхід повітря з'єднаний з одностороннім клапаном і пропорційним клапаном та парогенеруючою трубою. Анодне кільце та катодний стрижень розміщені у камері згоряння, з'єднані з рушійним механізмом для регулювання відстані між ними.

Недоліками цього плазмового пальника є складне конструктивне рішення з приводом регулювання відстані між анодним кільцем та катодним стрижнем, що ускладнює його експлуатацію у разі поломки. Конструктивне рішення по анодному стрижню не забезпечує формування множинних розрядів, що може привести до нерівномірного нагрівання газової суміші та неоднорідності плазми. Крім того, реалізація генератора пари за допомогою розпилення стисненого повітря вимагає складних елементів, таких як клапани, труби, датчики температури і тиску, контролер PLC і електромагнітні клапани.

У процесі розпилення стисненого повітря неможливо досягти дуже дрібних розмірів крапель води, що утворюють пару. Це може вплинути на якість туману та його здатність до плазмового згоряння.

Відомий аналог [Номер міжнародної публікації WO 2023048693, опубл. 30.03.2023], спосіб спалювання водневмісної суміші з сухою парою разом з вуглеводневим паливом, який здійснюють за допомогою обладнання, що містить теплогенератор, корпус якого має парову сорочку, виконану принаймні з чотирьох пов'язаних між собою секцій. Усередині корпусу встановлено пальник для подачі суміші сухої пари, водню і кисню в камеру згоряння, який пов'язаний трубопроводами з секцією парової сорочки, джерелом природного газу та повітропроводом стиснутого повітря. Крім того, для підготовки до спалювання рідких сумішей відходів разом з паливом пристрій має ємність для накопичення рідких відходів, пов'язану трубопроводом з індукційним підігрівачем, вихід якого пов'язаний з секцією парової сорочки.

Недоліками аналога є значні енергетичні витрати на власні потреби із забезпечення процесу спалювання і великі теплові втрати з викидними газами. Конструкція розрахована на спалювання водовмісної суміші з сухою парою тільки разом з паливом, що має високу ефективність згоряння і не розрахована на використання неочищеного біогазу. Крім того, пальники виготовляють індивідуально для кожного виду вуглеводневого палива, типу котла та печі, що знижує мобільність у застосуванні теплогенератора.

Недоліком всіх згаданих рішень є також невисокий рівень регулювання і контролю процесу спалювання палива.

Найближчий аналог [Патент України на винахід № 125776, опубл. 01.06.2022, бюл. № 22], багатостримерний розрядник-запальник, який містить корпус, електроди, що підключені до джерела живлення, утримувачі електродів, контактор електрода, фіксатор-регулятор руху контактора електрода, електрод-магістраль, постійні магніти, при цьому в електроді-магістралі виконано отвори-сопла, всередині на одній осі передньої втулки-ізолятора-утримувача електрода, проміжних втулок-ізоляторів-утримувачів електрода, задньої втулки-ізолятора-утримувача електрода виконано прямий отвір, в який встановлено електрод, а на відстані $R/3$ від осі виконано повітряні канали за гвинтовою траєкторією, початки повітряних каналів задньої втулки-ізолятора-утримувача виконано конічними, при цьому електрод та контактор електрода виконані із електропровідного матеріалу, передню втулку-ізолятор-утримувач електрода, проміжні втулки-ізолятори-утримувачі електрода та задню втулку-ізолятор-утримувач електрода виконано із діелектричного магнітопроникного матеріалу, корпус виконано із діелектричного діаманітного матеріалу, постійні магніти встановлено поверх корпусу.

Недоліками найближчого аналога є відсутність засобів запобігання передчасної конденсації повітряно-пароводної або повітряно-тумановодної суміші та відокремлення твердих вуглецевих продуктів, що утворюються при спалюванні палива у множині стримерів електричних розрядів і плазмовому локальному просторі потоку газу, що знижує ефективність пристрою.

В основу винаходу поставлена задача створення плазмового пальника для спалювання сирого біогазу та утилізованої води, що забезпечить підвищення ефективності горіння за умови найменшої кількості вуглеводневогазової компоненти і використання утилізованої води як палива, трансформацію сирого біогазу з вмістом CO_2 більше 25 %, частинок пилу, слідів ароматичних сполук, аміаку та сірководню у паливну суміш з підвищеним вмістом водню та відокремлення дикарбону і наноструктурованого вуглецю, гомогенізацію пароповітряної і вуглеводневогазової суміші, а також зменшення викидів шкідливих речовин, таких як оксиди вуглецю (CO_2), оксиди азоту (NO_x), тверді

частки та інші атмосферні забруднювачі.

Поставлена задача вирішується тим, що в коаксіальному плазмовому пальнику для спалювання сирого біогазу та утилізованої води, який містить корпус, електроди, що підключені до джерела живлення, постійні магніти, магістраль подавання повітря, генератор водяного туману, повітряні канали з гвинтовою траєкторією, згідно з пропонуваним рішенням, корпус пальника виконано з двох з'єднаних частин, перша з яких виконує роль першого зовнішнього електрода, виконана із електропровідного матеріалу, має перший вхідний патрубок і факельний отвір, друга частина корпусу виконана у вигляді порожнистого циліндра із діелектричного діаманітного матеріалу, має другий вхідний патрубок, а на зовнішній поверхні другої частини корпусу коаксіально встановлено перший постійний магніт, перший внутрішній електрод коаксіально розташований в корпусі пальника і прикріплений одним кінцем до другої частини корпусу, до другого кінця першого внутрішнього електрода прикріплено півсферичний концентратор, повітряні канали з гвинтовою траєкторією виконані на зовнішній поверхні першого внутрішнього електрода, а перший зовнішній і внутрішній електроди приєднані до високовольтного джерела струму високої частоти, має камеру трансформації сирого біогазу, що містить впускний розподільувач сирого біогазу, виконаний з діелектричного матеріалу, до якого прикріплений другий зовнішній електрод у вигляді порожнистого циліндра, в стінках якого з одного боку виконано аксіальні канали і два колектори, а з іншого боку виконані тангенціальні отвори, які з'єднані з порожниною впускного розподільувача сирого біогазу, при цьому порожнини колекторів з'єднані з порожнинами аксіальних каналів, перший колектор має вхідний патрубок, а другий - вихідний патрубок, другий постійний магніт, який коаксіально встановлений зовні другого зовнішнього електрода, другий внутрішній електрод, який розташований коаксіально всередині другого зовнішнього електрода, має з одного боку форму загостреного конуса, а з іншого боку прикріплений до електроізоляційної втулки, циклон, вхід якого з'єднано з камерою трансформації сирого біогазу, а вихід - з першим вхідним патрубком корпусу пальника, при цьому другий зовнішній і внутрішній електроди приєднані до високовольтного джерела постійного струму, магістраль подавання повітря містить вентилятор, регульований розподільувач повітря, генератор водяного туману, пристрій запобігання конденсації, блок розділення газів, при цьому генератор водяного туману виконано у вигляді резервуара для утилізованої води, який має вхідний і вихідний повітряні патрубки та патрубок подавання утилізованої води, а всередині розташовані ультразвукові генератори, пристрій запобігання конденсації складається з двох порожнистих коаксіально розташованих циліндрів, що мають з'єднуючу втулку на одному кінці, нагрівача, який розташований зовні зовнішнього циліндра, при цьому порожнина внутрішнього циліндра з боку з'єднуючої втулки з'єднана з вихідним повітряним патрубком резервуара для утилізованої води, а порожнина зовнішнього циліндра - з вихідним патрубком другого колектора другого зовнішнього електрода, порожнини внутрішнього і зовнішнього циліндрів через другий вхідний патрубок з'єднані з порожниною корпусу пальника, впускний розподільувач сирого біогазу містить ежектор, регульований розподільувач повітря з'єднаний з вихідним патрубком вентилятора, з вхідним повітряним патрубком резервуара для утилізованої води, з входом блока розділення газів, вихід блока розділення газів з'єднано з ежектором, а вихід - з вхідним патрубком першого колектора другого зовнішнього електрода.

На кресленні показано конструктивну схему коаксіального плазмового пальника для спалювання сирого біогазу та утилізованої води.

Коаксіальний плазмовий пальник складається з корпусу 1, який виконано з двох з'єднаних частин, перша з яких виконує роль першого зовнішнього електрода 2, має перший вхідний патрубок 3 і факельний отвір 4, друга частина 5 корпусу 1 виконана у вигляді порожнистого циліндра із діелектричного діаманітного матеріалу, має другий вхідний патрубок 6, а на зовнішній поверхні другої частини 5 коаксіально встановлено перший постійний магніт 7. Перший внутрішній електрод 8 коаксіально розташований в корпусі 1 і прикріплений одним кінцем до другої частини 5 корпусу 1, а до другого кінця першого внутрішнього електрода 8 прикріплено півсферичний концентратор 9. На зовнішній поверхні першого внутрішнього електрода 8 виконані повітряні канали 10 з гвинтовою траєкторією, а електроди 2, 8 приєднані до високовольтного джерела струму високої частоти 11. Камера трансформації сирого біогазу 12 містить впускний розподільувач сирого біогазу 13, другий зовнішній електрод 14, в стінках якого з одного боку виконано аксіальні канали 15 і два колектори 16, 17, а з іншого боку виконані тангенціальні отвори 18, які з'єднані з порожниною 19 впускного розподільувача сирого біогазу 13, перший колектор 16 має вхідний патрубок 20, а другий колектор 17 - вихідний патрубок 21. Зовні другого зовнішнього електрода 14 коаксіально встановлений другий постійний магніт 22. Другий внутрішній електрод 23 прикріплений до електроізоляційної втулки 24. Камера трансформації сирого біогазу 12 з'єднана з входом в циклон 25, вихід якого з'єднано з першим вхідним патрубком 3 корпусу 1 пальника. Електроди 14, 23 приєднані до високовольтного джерела постійного струму 26. Магістраль подавання повітря 27 містить вентилятор 28, регульований розподільувач повітря 29, генератор водяного туману 30, пристрій запобігання конденсації 31, блок розділення газів 32, при цьому генератор водяного туману 30 виконано у вигляді резервуара 33 з утилізованою водою, який має вхідний 34 і вихідний 35 повітряні патрубки та патрубок 36 подавання

утилізованої води, а всередині розташовані ультразвукові генератори 37. Пристрій запобігання конденсації 31 складається з двох порожнистих коаксіально розташованих внутрішнього 38 і зовнішнього 39 циліндрів, що мають з'єднуючу втулку 40 на одному кінці, нагрівача 41, який розташований зовні зовнішнього циліндра 39, при цьому порожнина 42 внутрішнього циліндра 38 з боку з'єднуючої втулки 40 з'єднана з вихідним повітряним патрубком 35 резервуара 33 з утилізованою водою, а порожнина 43 зовнішнього циліндра 39 - з вихідним патрубком 21 другого колектора 17 другого зовнішнього електрода 14, порожнини 42 і 43 через другий вхідний патрубок 6 з'єднані з порожниною 44 корпусу 1 пальника, впускний розподільувач сирого біогазу 13 містить ежектор 45.

Регульований розподільувач повітря 29 з'єднаний з вихідним патрубком 46 вентилятора 28, з вхідним повітряним патрубком 34 резервуара з утилізованою водою 33, з входом блока розділення газів 32. Вихід 47 блока розділення газів 32 з'єднано з ежектором 45, а вихід 48 - з вхідним патрубком 20 першого колектора 16 другого зовнішнього електрода 14.

Циклон 25 має бункер 49 для збору наноструктурованого дикарбону.

Коаксіальний плазмовий пальник для спалювання сирого біогазу та утилізованої води функціонує наступним чином.

Через вхідні патрубки 3, 6 в порожнину 43 корпусу 1 відповідно надходять потоки попередньо трансформованого і очищеного від твердих часток біогазу та повітряно-тумановодної суміші. Напрямок руху цих потоків узгоджено (наприклад, за годинниковою стрілкою) шляхом виконання тангенціального входу біогазу в порожнину 43 корпусу 1 через вхідний патрубок 3 і відповідного тангенціального входу повітряно-тумановодної суміші через вхідний патрубок 6 та вибору правої або лівої гвинтової траєкторії повітряних каналів 10 першого внутрішнього електрода 8. Одночасно від високовольтного джерела струму високої частоти 11 імпульси електричного струму високої напруги подаються до електродів 2, 8 (на кресленні показано умовно переривчастими стрілками).

Між першим зовнішнім електродом 2 і півсферичним концентратором 9 першого внутрішнього електрода 8 формується множина стримерів електричних розрядів (на кресленні показано умовно переривчастими блискавками).

Одночасно вздовж електрода 8 на потік повітряно-тумановодної суміші, що рухається вздовж гвинтових повітряних каналів, впливає комбіноване поле електромагнітної природи, створене першим постійним магнітом 7 і електричним полем між електродами 2, 8, відповідно, яке покращує окиснювальні властивості повітря та підготовляє пару або туман води до горіння, змінює структуру молекул води і активує їх. Це збільшує ймовірність додаткової іонізації, а також стимулює утворення іонів.

Залежно від швидкості подавання повітря (повітряно-тумановодної суміші) множина стримерів від наносекундних повторювальних імпульсних розрядів роздувається, розповсюджується від концентратора 9 першого внутрішнього електрода 8 за вхідний патрубок 3 входу потоку попередньо трансформованого біогазу у бік факельного отвору 4 та сприяє формуванню озону O_3 . Розмір роздування множини стримерів електричних розрядів залежить від швидкості руху повітря. При цьому у масиві роздуваних стримерів відбувається інтенсивне змішування кисню C_2 , озону O_3 , туману води H_2O і компонентів біогазу та формується активна паливно-водно-повітряна палива суміш. Застосування змінного електричного поля між першим зовнішнім електродом 2 і першим внутрішнім електродом 8 за допомогою радіочастотного збудження дозволяє формувати тліючий розряд. Цей процес призводить до іонізації та дисоціації молекул пари, що в результаті утворює оксидовневу плазму.

Формування полум'я відбувається за концентратором 9 першого внутрішнього електрода 8, випуск полум'я відбувається через факельний отвір 4. Коаксіальний плазмовий пальник функціонує як запальник паливних сумішей фрагментарно, так і постійно додатково покращує процес горіння.

Сирий біогаз з метантенка спочатку надходить до камери трансформації сирого біогазу 12, а саме до впускного розподільувача сирого біогазу 13, в якому попередньо за допомогою ежектора 45 здійснюється додавання до біогазу повітря, що дає змогу зв'язувати сірководень H_2S з киснем. Попередньо повітря проходить блок розділення газів 32, в якому за допомогою магнітного поля здійснюється розділення повітря на потік повітря з максимальною часткою кисню, окису і двоокису азоту та другий потік, який містить азот і інші гази. Гази, крім кисню, окису і двоокису азоту, є практично немагнітні, оскільки їх об'ємна магнітна сприйнятливість на два порядки нижче, ніж у кисню. Якщо в газовому середовищі є кисень, то під дією магнітного поля, що створюється постійними магнітами або електромагнітним збудженням, кисень втягується в напрямку падіння напруженості магнітного поля, що викликає рух частини повітря з максимальною часткою кисню до ежектора 45.

Далі біогаз, частково очищений від сірководню, з порожнини 19 надходить через щонайменше чотири (рівномірно розташовані по колу) тангенціальні отвори 18 в зазор між другим зовнішнім електродом 14 і другим внутрішнім електродом 23, де формується вихровий потік газу.

Плазмова дуга між електродами 14, 23 ініціюється високовольтним джерелом постійного струму 26, вихідна напруга якого регулюється в діапазоні від 0 до 15 кВ. Магнітне поле, перпендикулярне радіальній складовій струму плазмової дуги, формується другим постійним магнітом 22, який

коаксіально закріплений навколо зовнішнього електрода 14. Величина магнітної індукції в проміжку між електродами 14, 23 встановлюється на рівні 0,25 Тл. Під впливом тангенціального вихрового потоку газу та сили Ампера, яка є сумою сил, які діють на вільні заряди, обертова дуга рухається вздовж електродів 14, 23 і стабілізується в зоні загостреної частини другого внутрішнього електрода 23. При цьому частота обертання плазмової дуги значно більше швидкості біогазу, що призводить до однорідного режиму активації, взаємним зіткненням та достатньої взаємодії між активними речовинами в плазмі (енергетичні електрони, іони, атоми, збуджені молекули та радикали).

Основними продуктами процесу взаємодії між активними компонентами в плазмі камери трансформації сирого біогазу 12, які далі направляються в циклон 25, є газоподібні H_2 , CH_4 , C_2H_2 , CO , H_2O , тверді дикарбон C_2 , наноструктурований вуглець та ін. При цьому частина метану не вступає в хімічні реакції і транспортується, як і інші газоподібні продукти, через циклон 25 до патрубку 3 корпусу 1 пальника.

Тверді продукти (дикарбон C_2 , наноструктурований вуглець) збираються в бункері 49 циклона 25 і далі можуть бути використані для промислових застосувань, таких як накопичувачі енергії та паливні елементи.

Потік повітряно-тумановодної суміші формується магістраллю подавання повітря 27, в якій вихідний повітряний потік вентилятора 28 за допомогою системи керування (не показана) розподільвача повітря 29 розподіляється на два регульовані потоки. Один потік направлено через вхідний повітряний патрубок 34 до генератора водяного туману 30, де в резервуарі 33 з утилізованою водою він захоплює водяний туман, створений ультразвуковими генераторами 37, і далі потік повітряно-тумановодної суміші через вихідний повітряний патрубок 35 прямує через пристрій запобігання конденсації 31 в другий вхідний патрубок 6 корпусу 1 пальника.

Додаткова функція генератора водяного туману 30 - зменшення мікробного навантаження утилізованої води, випромінювані сигнали на рівні 1700 кГц, питома енергія - 36 Вт·год/л.

Другий повітряний потік від регульованого розподільвача повітря 29 направляється до входу блока розділення газів 32, де після магнітної обробки потік повітря з максимальною часткою кисню, окису і двоокису азоту через вихід 47 прямує до ежектора 45. Потік, який містить азот і інші гази, через вихід 48 прямує до вхідного патрубка 20 першого колектора 16 другого зовнішнього електрода 14, де утилізує частину теплової енергії камери трансформації сирого біогазу 12, яка використовується для підігріву пристрою запобігання конденсації 31.

Для підтримання умов, що виключають створення "холодних зон" (температур нижче точки роси) при транспортуванні повітряно-тумановодної суміші в пристрої запобігання конденсації 31 передбачено її підігрів. В період початку роботи коаксіального плазмового пальника цю функцію виконує нагрівач 41, а в подальшому нагрів здійснюється за рахунок частини теплової енергії камери трансформації сирого біогазу 12 при проходженні повітряного потоку через аксіальні канали 15 і колектори 16, 17 камери трансформації сирого біогазу 12, а також порожнину 43 пристрою запобігання конденсації 31. При цьому нагрівач 41 автоматично буде відключено.

Регулювання параметрів і характеристик процесу підготовки вуглеводневого палива і повітряно-тумановодної суміші та процесу спалювання здійснюється за допомогою автоматичної системи керування (не показана).

Технічне рішення винаходу забезпечує підвищення ефективності горіння за умови найменшої кількості вуглеводневогазової компоненти і використання утилізованої води як палива, трансформацію сирого біогазу з вмістом CO_2 більше 25 %, частинок пилу, слідами ароматичних сполук, аміаку та сірководню у паливну суміш з підвищеним вмістом водню та відокремлення дикарбону і наноструктурованого вуглецю, а також зменшення викидів шкідливих речовин, таких як оксиди вуглецю (CO_2), оксиди азоту (NO_x), тверді частки та інші атмосферні забруднювачі.

