



УКРАЇНА

(19) UA (11) 84185 (13) C2
(51) МПК (2006)
C10L 9/00
C10B 57/00
B01J 19/08

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ ТА УСТАНОВКА ДЛЯ ОБРОБКИ СИРОВОГО ТВЕРДОГО ПАЛИВА

1

(21) а200607632
(22) 10.12.2004
(24) 25.09.2008
(86) PCT/US2004/041786, 10.12.2004
(31) 60/529,204
(32) 12.12.2003
(33) US
(46) 25.09.2008, Бюл.№ 18, 2008 р.
(72) УЕЙНБЕРГ ДЖЕРРИ Л., ГІНТЕР НІЛ Е., ЕЙТЕН
ДЖЕД А., УОНГ РУ Т.
(73) КОУЛТЕК КОРПОРЕЙШН
(56) WO 97/07185, А, 27.02.1997
US 3954674, А, 04.05.1976
DE 3234315, А, 22.03.1984
(57) 1. Спосіб обробки партії сирового твердого
палива, який включає:
- приймання партії сирового твердого палива для
обробки,
- вимірювання однієї або кількох властивостей
партії сирового твердого палива, вибраних з групи:
вміст сірки, вміст кожної з різноманітних форм
сірки, вміст легких матеріалів, вміст зв'язаного
вуглецю, розмельна характеристика за
Гардгровом, масові кількості слідових мінералів та
відгук палива та його індивідуальних компонентів
на електромагнітне випромінювання,
- визначення бажаних паливних властивостей пар-
тії твердого палива після обробки,
- на основі вимірюваних паливних властивостей
партії сирового твердого палива розроблення
конфігурації системи та вибір профілю рівня
потужності при вибраній частоті та тривалості дії
електромагнітного випромінювання, які забезпечують
одержання партії обробленого твердого палива з
бажаними паливними властивостями, і
- обробка партії твердого палива шляхом піддання
її дії електромагнітного випромінювання при вибра-
них частоті та профілі рівня потужності, впродовж
вибраної тривалості дії електромагнітного випро-
мінювання.
2. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що за-
стосовують множину рівнів потужності у заздале-
гдь визначеній послідовності, так щоб домогтися
вилучення із партії твердого палива різних конкре-
тно визначених компонентів.

2

3. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що при
виборі профілю рівня потужності вимірюють і за-
стосовують декілька з вищезгаданих властивостей
партії сирового твердого палива.
4. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що при
виборі профілю рівня потужності вимірюють і за-
стосовують більшість з вищезгаданих властивос-
тей партії сирового твердого палива.
5. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що при
виборі профілю рівня потужності вимірюють і за-
стосовують всі вищезгадані властивості партії си-
рового твердого палива.
6. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що тве-
рдим паливом є вугілля.
7. Спосіб за п. 6, який відрізняється тим, що ву-
гілля не є у формі суспензії.
8. Спосіб за п. 6, який відрізняється тим, що тве-
рде паливо додатково подрібнюють або класифі-
кують так, щоб партія містила частинки твердого
палива діаметром від приблизно 20 см і менше.
9. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що до-
датково включає попереднє нагрівання партії си-
рового твердого палива перед підданням їй дії
електромагнітного випромінювання при вибраних
частоті та профілі рівня потужності, причому енер-
гію та тривалість дії попереднього нагрівання та
електромагнітного випромінювання застосовують для
обробки твердого палива послідовно з досягнен-
ням його подрібнення та регулювання подальшого
цілеспрямованого вилучення вологи.
10. Спосіб за п. 9, який відрізняється тим, що
попереднє нагрівання виконують при частоті, від-
мінній від частоти подальшої дії електромагнітного
випромінювання.
11. Спосіб за п. 10, який відрізняється тим, що
попереднє нагрівання забезпечує джерело тепла.
12. Спосіб за п. 9, який відрізняється тим, що
партію твердого палива обробляють у камері, при-
чому спосіб включає пропускання сухого повітря
через камеру під час обробки.
13. Спосіб за п. 12, який відрізняється тим, що
сухе повітря подають при витраті, достатній для
винесення зволоженого газу та для сприяння за-
побіганню спалахуванню в камері.
14. Спосіб за п. 13, який відрізняється тим, що
витрату сухого повітря визначають за розмірами

(13) C2

(11) 84185

(19) UA

та конфігурацією камери та кількістю вологи, яку необхідно вилучити з твердого палива.

15. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що електромагнітну енергію та тривалість її дії застосовують для подальшої обробки твердого палива та регулювання цілеспрямованого вилучення золи.

16. Спосіб за п. 15, який **відрізняється** тим, що партію твердого палива обробляють у камері, причому спосіб додатково включає пропускання сухого повітря через камеру під час обробки.

17. Спосіб за п. 16, який **відрізняється** тим, що сухе повітря подають при витраті, достатній для винесення забрудненого золою газу та дрібних твердих частинок та для сприяння запобіганню спалахуванню в камері.

18. Спосіб за п. 13, який **відрізняється** тим, що витрату сухого повітря визначають за кількістю золи, яку необхідно вилучити з твердого палива.

19. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що електромагнітну енергію та тривалість її дії застосовують до твердого палива для забезпечення його подрібнення та вивільнення вологи, та для подальшої обробки твердого палива при підвищеній температурі протягом довшого періоду часу для досягнення цілеспрямованого вивільнення сірки з твердого палива.

20. Спосіб за п. 19, який **відрізняється** тим, що підвищена температура для цілеспрямованого вивільнення сірки лежить у межах від 130 до 240 °С.

21. Спосіб за п. 19, який **відрізняється** тим, що партію твердого палива обробляють у камері, причому спосіб додатково включає пропускання інертного газу через камеру під час обробки.

22. Спосіб за п. 21, який **відрізняється** тим, що інертний газ подають при витраті, достатній для запобігання спалахуванню та горінню в камері.

23. Спосіб за п. 22, який **відрізняється** тим, що витрата становить щонайменше 0,42 м³/год/м³ об'єму камери.

24. Спосіб за п. 21, який **відрізняється** тим, що додатково включає подавання водню під час фази зниження вмісту сірки у процесі.

25. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що обробку електромагнітним випроміненням здійснюють так, що підвищують теплотворність твердого палива щонайменше на 556 кал/кг.

26. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що обробку електромагнітним випроміненням здійснюють так, що зменшують вологість твердого палива на величину від приблизно 1 до 98 %.

27. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що обробку електромагнітним випроміненням здійснюють так, що зменшують зольність твердого палива на величину від приблизно 2 до 60 %.

28. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що обробку електромагнітним випроміненням здійснюють так, що зменшують загальний вміст сірки у твердому паливі на величину від приблизно 2 до 70 %.

29. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що обробку електромагнітним випроміненням здійснюють так, що зменшують вміст піритів у твердому паливі на величину від приблизно 3 до 95 %.

30. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що обробку електромагнітним випроміненням здійснюють так, що зменшують вміст сульфатів у твердому паливі на величину від приблизно 5 до 95 %.

31. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що обробку електромагнітним випроміненням здійснюють так, що зменшують вміст органічної сірки у твердому паливі на величину від приблизно 1 до 60 %.

32. Спосіб обробки вугілля та інших твердих палив, який включає:

- вимірювання однієї або кількох властивостей партії сирового твердого палива, вибраних з групи: вміст вологи, теплотворність, зольність, загальний вміст сірки, вміст кожної з різноманітних форм сірки, вміст летких матеріалів, вміст зв'язаного вуглецю, розмельна характеристика за Гардгровом, масові кількості слідових мінералів та відгук палива та його індивідуальних компонентів на електромагнітне випромінення, та

- генерування електромагнітної енергії для попереднього нагрівання та обробки мікрохвильовою або радіочастотою на частоті 928 МГц або нижче та піддання партії твердого палива дії енергії на вказаних частотах для зміни вимірної властивості.

33. Установка для обробки твердого палива електромагнітним випроміненням, яка містить:

- конвеєр змінної швидкості,

- систему попереднього нагрівання, причому конвеєр змінної швидкості проходить через цю систему попереднього нагрівання,

- систему генерації електромагнітного випромінення, яка містить щонайменше одне джерело електромагнітної енергії та камеру обробки, в яку спрямована ця електромагнітна енергія, причому згаданий конвеєр змінної швидкості проходить через цю камеру обробки,

- пристрій керування, який містить комп'ютерний процесор, з'єднаний з носієм, доступним для зчитування комп'ютером, де зберігається програмний пакет для генерування команд для регулювання генерації електромагнітної енергії,

- систему вимірювань та зворотного зв'язку, конфігуровану для вимірювання змін властивостей твердого палива під час оброблення електромагнітною енергією в системі генерації електромагнітного випромінення та для передавання результатів вимірювань у пристрій керування, та

- систему обробки повітряного потоку та побічних продуктів, виконану з можливістю пропускання газу через камеру обробки та для вловлювання та зберігання побічних продуктів, вивільнених у камері обробки внаслідок дії електромагнітного випромінення.

34. Установка за п. 33, яка **відрізняється** тим, що система генерації електромагнітного випромінення здатна забезпечити 15 кВт електромагнітної енергії на одне джерело або більше.

35. Установка за п. 33, яка **відрізняється** тим, що система генерації електромагнітного випромінення здатна забезпечити електромагнітну енергію з кожного джерела із частотою 902 МГц або вище.

36. Установка за п. 33, яка **відрізняється** тим, що джерело електромагнітної енергії пристосоване до

промислових продуктивностей обробки і містить кілька магнетронів та генераторів для магнетронів.

37. Установа за п. 33, яка **відрізняється** тим, що система вимірювань та зворотного зв'язку містить датчик температури для контролю температури поверхні грудок твердого палива на конвеєрі.

38. Установа за п. 37, яка **відрізняється** тим, що система вимірювань та зворотного зв'язку та пристрій керування конфігуровані для контролю температури поверхні твердого палива у камері для запобігання підвищення цієї температури до температури спалахування твердого палива, яке проходить обробку.

39. Установа за п. 37, яка **відрізняється** тим, що пристрій керування запрограмований на регулювання на основі вимірюної температури поверхні твердого палива одного або кількох таких параметрів: потужність електромагнітного випромінення, тривалість дії електромагнітного випромінення та витрата повітря.

40. Установа за п. 33, яка **відрізняється** тим, що система вимірювань та зворотного зв'язку містить аналізатор вологості, конфігурований для вимірювання вологості твердого палива під час обробки.

41. Установа за п. 40, яка **відрізняється** тим, що пристрій керування запрограмований на регулювання на основі вимірюної вологості твердого палива одного або кількох таких параметрів: потужність електромагнітного випромінення, тривалість дії електромагнітного випромінення та витрата повітря.

42. Установа за п. 33, яка **відрізняється** тим, що система вимірювань та зворотного зв'язку містить аналізатор сірки, виконаний з можливістю вимірювання вмісту сірки у твердому паливі під час обробки.

43. Установа за п. 42, яка **відрізняється** тим, що пристрій керування запрограмований на регулювання на основі вимірюного вмісту сірки у твердому паливі одного або кількох таких параметрів: поту-

жність електромагнітного випромінення, тривалість дії електромагнітного випромінення та витрата повітря.

44. Установа за п. 33, яка **відрізняється** тим, що система вимірювань та зворотного зв'язку містить аналізатор зольності, виконаний з можливістю вимірювання зольності твердого палива під час обробки.

45. Установа за п. 44, яка **відрізняється** тим, що пристрій керування запрограмований на регулювання на основі вимірюної зольності твердого палива одного або кількох таких параметрів: потужність електромагнітного випромінення, тривалість дії електромагнітного випромінення та витрата повітря.

46. Установа за п. 33, яка **відрізняється** тим, що система вимірювань та зворотного зв'язку містить аналізатор слідових мінералів, виконаний з можливістю вимірювання кількості цих мінералів у міліонних частках у твердому паливі під час обробки.

47. Установа за п. 34, яка **відрізняється** тим, що електромагнітна енергія генерована кожним джерелом на частоті 928 МГц або нижче.

48. Установа за п. 35, яка **відрізняється** тим, що система генерації електромагнітного випромінення здатна забезпечити щонайменше 75 кВт електромагнітної енергії на одне джерело.

49. Установа за п. 33, яка **відрізняється** тим, що система генерації електромагнітного випромінення здатна забезпечити 1 кВт електромагнітної енергії на одне джерело або більше.

50. Установа за п. 33, яка **відрізняється** тим, що електромагнітна енергія генерована кожним джерелом на частоті 2500 МГц або нижче.

51. Установа за п. 50, яка **відрізняється** тим, що система генерації електромагнітного випромінення здатна забезпечити електромагнітну енергію з кожного джерела із частотою 2400 МГц або вище.

Більше половини електроенергії, що споживається у США, на даний час виробляється на вугільних теплоелектростанціях та інших комунальних підприємствах, що працюють на вугіллі, які мають невисоку ефективність. Незважаючи на низьку вартість, простоту застосування та розповсюдженість джерел нафти та газу, використання яких зростає, вугілля у прогнозованому майбутньому залишиться значним джерелом сировини для промислових потреб і, особливо, для виробництва енергії у світовому масштабі у зв'язку з великими запасами вугілля та значною кількістю робочої сили, зайнятої у вугільній промисловості. Проте вугілля як матеріал відзначається широкою різноманітністю властивостей та неоднорідністю і, як правило, містить значні кількості вологи, золи, сірки та мінеральних домішок, що призводить до зниження сучасного потенціалу вугілля як ефективного та повністю згоряючого палива.

Наукова та технічна література, технологічні документи та патенти описують велику кількість

невдалих спроб поліпшення повноти згорання твердих палив. Для очищення вугілля та видалення відходів застосовуються фізичні та хімічні методи і навіть біологічні технології із застосуванням мікроорганізмів. Для видалення золи та піротної сірки, що мають підвищену питому вагу, широко застосовується промивання вугілля, проте цей спосіб призводить до втрати, як правило, до 20% вугілля. З метою підвищення характеристики теплотворності вугілля (показника БТО/фунт, тобто кількості британських теплових одиниць на фунт; 1 БТО/фунт=0,556 ккал/кг) застосовують різноманітні способи висушування, які, однак, мають надто високу вартість. Досліджено численні способи, спрямовані на значне зниження вмісту сірки.

При спалюванні навіть високосортного вугілля, наприклад, антрациту та бітумінозного вугілля, утворюються значні кількості викидів, що викликає зростаюче занепокоєння у зв'язку з проблемами екології та глобального потепління. Спалювання високосірчистого вугілля спричинило тяжкий вплив

на атмосферу у Східній Європі, у Китаї та в інших регіонах, і з цим явищем значною мірою пов'язані численні, але безуспішні спроби винайдення ефективних та економічно прийнятних способів знесірчення на протязі останніх 25 років. У багатьох таких спробах застосовувалися електромагнітні засоби, тобто використання ультрафіолетового, оптичного, інфрачервоного, радіочастотного, мікрохвильового, рентгенівського та навіть гамма-випромінювання та їх комбінацій. Більшість цих спроб виявилися невдалими. На цей час, наскільки відомо заявникам, у промисловій практиці не існує жодної універсальної, ефективної та економічно прийнятної електромагнітної або іншої технології попередньої обробки для видалення з вугілля сірки або будь-якого іншого значного компоненту.

Присутність вологи, золи, сірки та інших компонентів в різних кількостях у всіх різновидах вугілля спричиняє різноманітні проблеми при його спалюванні або нагріванні іншим способом для будь-якої мети. Отруйні гази, наприклад, оксиди азоту (NO_x) та оксиди сірки (SO_x), що утворюються при згорянні вугілля, негативно впливають на довкілля, сприяючи утворенню кислотних дощів, смогу, шкідливого для здоров'я повітря з підвищеним вмістом сірки (що є причиною відомого жовтого кольору неба у багатьох регіонах Китаю) та випадання токсичних частинок, які часто переносяться на значні відстані від їх джерел повітряними потоками. Крім того, після спалювання вугілля залишаються неорганічні золи, що містять залишкові елементи, наприклад, ртуть; наслідки їх впливу рідко беруться до уваги, якщо золу перероблюють або застосовують як наповнювач у широких масштабах та для довготривалих цілей, наприклад, при спорудженні та ремонті доріг. Останнім часом до цих обставин додається занепокоєння, пов'язане з утворенням при згорянні вугілля значних кількостей діоксиду вуглецю (CO_2), який безпосередньо та значною мірою впливає на глобальне потепління. Нарешті, присутність у багатьох різновидах вугілля значних кількостей вологи призводить до зниження ефективності згорання, що викликає необхідність спалювання більших кількостей вугілля і, як наслідок, збільшення кількості викидів. Відносно невелика увага приділяється зневодненню (тобто підвищенню теплотворності, що безпосередньо забезпечує можливість спалювання менших кількостей вугілля для одержання тієї самої кількості енергії і, отже, зменшення кількості усіх викидів).

На протязі багатьох років робилися численні спроби видалити або іншим способом зменшити зольність та вміст сірки у вугіллі і тим самим послабити різноманітні форми забруднення довкілля шляхом підвищення якості та характеристик згорання вугілля. На жаль, виявилось, що ці спроби вимагають значного часу, коштів та є практично непридатними.

Наприклад, робилися спроби "промивання" вугілля перед спалюванням. Ці процеси можуть бути дорогими та вимагають значного збільшення та модифікування устаткування підприємств. У промислових системах вугілля перед подаванням на промивання слід подрібнювати або класифікувати із застосуванням сит, розпилювачів, кульових

млинів, дробарок або інших аналогічних типів розмелювального устаткування. Як правило, для зменшення розмірів частинок вугілля із застосуванням згаданих типів устаткування потребує відносно важких та великогабаритних агрегатів, придбання, експлуатація та утримання яких вимагає значних витрат.

В інших прикладах системи та способи очищення включають глибоке висушування вугілля із застосуванням центрифуг, обертових барабанних фільтрів, сушарок із псевдозрідженим шаром або інших аналогічних типів сушильного устаткування перед спалюванням вугілля або іншого палива. Як правило, висушування вугілля із застосуванням устаткування таких типів вимагає складних або багатостадійних процесів з апаратним оформленням, придбання, експлуатація та утримання якого також вимагає значних витрат.

В інших спробах застосовується додання до вугілля одного або кількох каталізаторів з метою зменшення кількості небажаних побічних продуктів, що утворюються при згорянні вугілля. Наприклад, певні типи каталізаторів при доданні до вугілля здатні зменшити кількість сірки, що викидається в атмосферу під час спалювання вугілля. Ці спроби спрямовані також на поліпшення характеристик згорання, наприклад, підвищення теплотворності вугілля, що підлягає спалюванню. Проте в таких випадках можуть утворюватися інші сукупності побічних продуктів, які можуть бути небезпечними та вимагають значних витрат на їх захоронення або зберігання.

За відсутності рішень цієї давньої проблеми, пов'язаних із попередньою обробкою, у сучасному виробництві електроенергії шляхом спалювання вугілля перевага віддається застосуванню газоочищення після спалювання. Наприклад, застосовуються скрубери для очищення димових газів згорання, за допомогою яких із димових газів видаляють SO_x та NO_x . Цей тип устаткування та інші подібні системи та процеси також вимагають значних витрат на встановлення, експлуатацію та утримання. На жаль, при цьому не вирішується проблема CO_2 , і сучасні зусилля, спрямовані на вловлювання та відведення CO_2 , виявляються неперспективними та непрактичними.

Нарешті, численні підприємства, де спалюється вугілля, змішують низькосірчисте вугілля з високосірчистим з метою задоволення законодавчим вимогам до показника питомої кількості викидів SO_2 на одиницю вироблюваного тепла (фунтів SO_2 на мільйон БТО; 1 фунт SO_2 на мільйон БТО = 0,8 кг SO_2 на мегакалорію). Цей спосіб, як правило, вимагає транспортування важкого вологого вугілля на значні відстані, при цьому транспортні витрати часто дорівнюють вартості вугілля або навіть перевищують її.

В цьому документі описано принципи, системи та способи, в яких застосовується електромагнітна енергія (наприклад, мікрохвильова енергія) для зміни механічної структури вугілля та для окремої та/або комплексної зміни основних компонентів вугілля з метою поліпшення якості згорання вугільного палива (наприклад, зниження вологості та підвищення теплотворності до оптимальних значень для конкретного застосування, зниження вмі-

сту усіх форм сірки, в тому числі органічної сірки, що важче піддається видаленню, та зниження зольності при одночасному збереженні або підвищенні теплотвірної здатності вугілля).

Варіанти здійснення цього винаходу можна пристосувати до певного типу вугілля та потрібних змін його властивостей. Згадані системи можуть бути модульними, виконуваними у різних масштабах, пересувними або стаціонарними та можуть застосовуватися у складі технологічних ліній або автономно на підземних або поверхневих гірничих підприємствах або ж на теплових електростанціях та інших комунальних підприємствах. Параметри процесів можуть підбиратися з урахуванням вимог конкретних застосувань, з одночасним видаленням та збиранням різноманітних побічних продуктів, наприклад, води, сірки та золи. Для визначення властивостей перероблюваного вугілля можуть застосовуватися поточні або автономні способи із системами зворотного зв'язку, які використовуються для зміни параметрів регулювання процесу, наприклад, часу перебування в апаратурі (витрати), потужності, витрати повітря тощо, з метою досягнення попередньо вибраних показників властивостей модифікованого палива та запобігання надмірній або недостатній ефективності процесу.

Процес починається зі збирання інформації про конкретне вугілля, в тому числі про його місцезнаходження (на виході з шахти, у кар'єрі, на збагачувальному підприємстві або на електростанції та іншому комунальному підприємстві у будь-якому місці перед кінцевим подрібненням тощо). Іншою обставиною, що береться до уваги, є мета застосування переробленого вугілля (наприклад, паливо підвищеної теплотворності та чистоти може використовуватися для живлення котлів на твердому паливі, паливо зі зниженим вмістом сірки та підвищеною леткістю може використовуватися для переробки сталі та інших технологічних процесів, як спеціальне паливо для хімічної технології тощо) та потрібні властивості палива. Потім визначаються кількісні показники, необхідні для обробки, та будь-які існуючі процедури обробки, які слід взяти до уваги, наприклад, подрібнення або класифікація вугілля. Далі проби сирових матеріалів аналізуються для визначення їхніх властивостей. Нарешті, проектується система для забезпечення конкретних потрібних властивостей обробленого палива. До проектних параметрів системи, які можуть задаватися заздалегідь або варіюватися у реальному часі, належать: здатність системи первинної обробки вугілля до пристосування до кількостей та гранулометрії вугілля, яке слід подавати у систему обробки; розміри, форма та тип робочої камери та конвеєра для роботи при розмірних параметрах та витратах, потрібних для обробки за призначенням або потрібний для неї час; значення частоти або частот, тривалості дії та потужності електромагнітного випромінювання, необхідні для досягнення потрібних властивостей перероблюваного вугілля; та характеристики глибини проникнення, необхідні для забезпечення досягнення потрібного середнього ступеня обробки вугілля.

Показано, що електромагнітна технологія одностадійної попередньої сухої обробки вугілля

забезпечує: зміну механічної структури вугілля і тим самим значно поліпшує його здатність до подрібнення; зниження вологості та підвищення теплотворності до рівнів, оптимальних із точки зору передбачуваного застосування; зниження вмісту усіх форм сірки, в тому числі органічної сірки, що важче піддається видаленню; зниження зольності; та значне зменшення показника питомої кількості викидів SO₂ на одиницю вироблюваного тепла при збереженні теплотвірної здатності вугілля. Крім того, на відміну від багатьох попередніх спроб, вугілля можна оброблювати цими способами без суспендування або додання до вугілля розчинника чи іншої рідини іншим способом перед опроміненням вугілля. Способи, описані в цьому документі, є придатними не тільки для видалення сірки або будь-якого іншого окремого компонента з вугілля, для чого призначені відомі способи; навпаки, ці способи можна застосовувати для досягнення цільових характеристик стосовно до кожної з різноманітних властивостей вугілля, наприклад, вказаних вище.

Методологія процесу, що розглядається в цьому документі, уможливорює варіювання параметрів процесу з метою забезпечення конкретних характеристик спалювання твердих палив. Наприклад, вона може ефективно впливати конкретно на зниження вологості та забезпечувати відносно вузький діапазон значень теплотворності навіть при застосуванні партії вугілля (кожної з партій вугілля), проби з якої характеризуються коливаннями гранулометрії та властивостей.

До опису додаються типові (але не "найкращі") результати зневоднення з метою демонстрування широкого діапазону можливостей застосування процесу. Ці результати упорядковано в порядку зростання відсотка зниження вологості для подальшого ілюстрування того, що застосування цих способів та устаткування уможливорює обробку будь-якого вугілля з досягненням бажаного ступеня зниження вологості. Крім того, при подальших попередніх випробуваннях можна також оцінити зольність та вміст сірки у сировому вугіллі і з'ясувати, яким чином вугілля конкретної партії буде реагувати на технологічний вплив у ході процесу. Як наслідок, цю систему можна при бажанні застосувати також для поліпшення інших паливних властивостей вугілля.

Перелічений та описаний у цьому документі матеріал, крім того, свідчить, що згадані системи можуть експлуатуватися у періодичному та безперервному режимах і забезпечувати зневоднення або досягнення інших потрібних паливних властивостей вугілля, конкретно, одержання вугілля з

- вмістом вологості у вугіллі будь-якого сорту, зниженим до бажаного рівня, наприклад, до приблизно 1% і нижче;

- теплотворністю вугілля будь-якого сорту, підвищеною до будь-якого рівня, щонайменше до рівня, який відповідає нульовій вологості, або щонайменше на 1000 БТО/фунт (556 ккал/кг) (оскільки процес забезпечує також зниження зольності та загального вмісту сірки, тим самим забезпечуючи додаткове підвищення теплотворності);

- зниженою зольністю вугілля будь-якого сорту (наприклад, щонайменше на 2%); у конкретних

варіантах здійснення винаходу таке зниження може становити від приблизно 10% до 50% і більше; та

- зниженим вмістом будь-яких форм сірки (наприклад, зі зниженням загального вмісту сірки щонайменше приблизно на 2%, піриту щонайменше приблизно на 3%, сульфатів щонайменше приблизно на 5% і органічної сірки щонайменше приблизно на 1%); у конкретних варіантах здійснення винаходу загальний вміст сірки знижується на 25-50%, а для деяких сортів вугілля навіть більше.

Крім того, при застосуванні згаданих систем та способів можна зменшити або виключити ризик утворення дуги (займання). В той час як у відомих способах для зниження ризику утворення дуги застосовувалися дрібні частинки та невеликі об'єми проб, у варіантах здійснення винаходу, описаних нижче, для зниження ймовірності утворення дуги застосовуються поточні вимірювання, системи моніторингу та зворотного зв'язку у комбінації з супровідним регулюванням рівня потужності, витрати повітря та часу перебування матеріалу в апаратурі для регулювання температури поверхні.

Далі, покращене розуміння авторами винаходу процесів проникнення електромагнітної енергії у вугілля та збільшення глибини проникнення, яке досягається при підвищених рівнях потужності, забезпечує можливість ефективного перероблення вугілля при збільшених (наприклад, промислово прийнятних) рівнях продуктивності, а також вугілля з більшими розмірами частинок.

На описаних нижче рисунках, що додаються, однакові або аналогічні елементи на різних проекціях мають однакові числові позначення. Рисунки не обов'язково виконані в масштабі, натомість, основну увагу приділено ілюструванню конкретних принципів способів та устаткування, охарактеризованих у детальному описі винаходу.

На Фіг.1 показано графік поглинання електромагнітного випромінювання конкретним типом лігніту (бурого вугілля) в залежності від частоти.

На Фіг.2 показано графік глибини проникнення електромагнітного випромінювання у воду при 25°C в залежності від частоти.

На Фіг.3 показано принципову схему, що описує в загальному вигляді методологію процесу за цим винаходом.

На Фіг.4 показано принципову схему елементів системи для здійснення процесу за цим винаходом.

На Фіг.5 показано конвеєрну систему.

На Фіг.6 показано подавальний вузол для застосування в комбінації з конвеєрною системою за Фіг.5.

На Фіг.7 показано вигляд апаратури за Фіг.5 та Фіг.6 з боку кінця конвеєра.

На Фіг.8 показано вигляд апаратури за Фіг.5 та Фіг.6 з боку кінця конвеєра.

На Фіг.9 та Фіг.10 показано перспективний вигляд ковпака передавального стенда для апаратури, показаної на Фіг.5.

На Фіг.11 та Фіг.12 показано перспективний вигляд ковпака передавального стенда для апаратури, показаної на Фіг.5.

На Фіг.13 показано пристрій для періодичного процесу за цим винаходом.

На Фіг.14 та 15 показано вигляд зверху та збоку пристрою для періодичного процесу, показаного на Фіг.13.

На Фіг.16 показано експериментальна установка.

I. Вугілля

A. Загальні відомості

Вугілля є органічним паливом, утвореним з вивірених рослин; вугілля містить аморфний вуглець у комбінації з різноманітними органічними та деякими неорганічними сполуками. Згідно з [описом Шоберта у монографії "Вугілля як джерело енергії у минулому та майбутньому" (Harold H.Schobert, "Coal, the Eenergy Source of the Past and Future", Amer. Chem Soc., 1987)], усі відомості з якої включено до цього опису шляхом посилання, "зовнішній вигляд вугілля лежить у межах від м'якого вологого коричневого матеріалу до дуже твердої блискучої чорної речовини", і за своїми фізичними та хімічними властивостями види вугілля можуть значно відрізнятися один від одного залежно від характеру, місця та часу відкладання вихідних матеріалів, типів органічних речовин, присутніх у вихідному матеріалі, та його змінами з часом. Тому необхідно класифікувати та стандартизувати типи та властивості вугілля для цілей його видобування, торгівлі та використання у промисловій практиці. Вугілля класифікується на нижчезазначені основні "класи", перелічені в порядку від найнижчої до найвищої якості:

- 1) буре вугілля;
- 2) лігніт;
- 3) суббітумінозне вугілля;
- 4) бітумінозне вугілля;
- 5) антрацит.

Буре вугілля безпосередньо у видобутому стані має дуже високий вміст води при низьких значеннях теплотвірної здатності (близько 3000БТО/фунт - 1670ккал/кг). Лігнітом зветься тип бурого-чорного вугілля, що має вологість від 20% до 50% і більше і теплотворність від 4000БТО/фунт до 7000БТО/фунт (2200-4000ккал/кг). Суббітумінозне вугілля - це чорне вугілля без деревинної текстури, характерної для лігнітів; суббітумінозне вугілля має високу вологість (як правило, 30-35%) і теплотворність в діапазоні між значеннями, характерними для лігнітів та бітумінозного вугілля. Бітумінозне вугілля являє собою м'яке кам'яне вугілля з найширшим діапазоном варіювання хімічного складу; бітумінозне вугілля може мати вологість від 5% до 20% і значення теплотворності від 10000БТО/фунт до 14000БТО/фунт і більше (5560-7780ккал/кг і більше). У США бітумінозне вугілля розповсюджене, головним чином, у східних родовищах. Антрацитове вугілля дуже тверде і безпосередньо у видобутому стані має відносно низьку вологість (як правило, менше 5%) і теплотворність близько 14000БТО/фунт (7700ккал/кг). Кожний з цих класів далі поділяється на підкласи (дивись ASTM, 1981, B-2796, та U.S. Geological Survey). У всіх випадках характеристики вугілля варіюють від рудника до рудника, від пласта до пласта та в межах кожного пласта, а також в межах одного пласта, часто в широких межах.

Максимальні діапазони варіювання характеристик для вугілля всіх класів, як правило, становлять:

теплотворність від <4900БТО/фунт до >15400БТО/фунт (від <2720ккал/кг до >8560ккал/кг);

вологість від <3,0% до >50%;

зольність від <3,0% до >35%; і

загальний вміст сірки від <0,25% до >6,0%.

В межах одного рудника коливання теплотворності можуть досягати 2500БТО/фунт (1390ккал/кг); вологості - 13%; зольності - 13% і загального вмісту сірки - 3%.

Оскільки вугілля характеризується значними відмінностями у зовнішньому вигляді, складі та властивостях (від бурого вугілля до лігнітів, далі послідовно до суббітумінозного, бітумінозного та антрацитового вугілля, а також у межах кожного класу та кожного рудника, пласта або навіть від одної невеликої проби до іншої), то винайдення загального шляху поліпшення властивостей конкретного виду вугілля як палива є дуже складним та звичайно ненадійним рішенням. Вугілля оцінюється окремо у кожному випадку.

В. База даних про вугілля

Створено базу даних на основі вимірювань, виконаних для широкого різноманіття необроблених та оброблених різновидів вугілля; необмежувальними прикладами таких різновидів є проби низькосірчистих сортів вугілля з Австралії, КНР та південної Кореї, різних видів вугілля з Індії та вугілля з Канади та США (в тому числі з штатів Алабама, Флоріда, Іллінойс, Огайо, Оклахома, Пенсильванія, Техас та Вайомінг).

Усі одержані партії вугілля у стані після видобутку спочатку випробовували для визначення середніх значень їх властивостей. Для найкращого наближення до промислової практики з кожної одержаної партії додатково відбирали окремі проби для обробки; тобто відбирали проби вугілля, яке не зазнало жодних попередніх змін. За такою методикою відбирали кількість проб, достатню для гарантування репрезентативності їхніх властивостей як середніх властивостей вугілля у стані після видобутку.

Для дослідження сотень сирових та оброблених проб із визначенням їхнього зовнішнього вигляду, кольору, твердості, однорідності, гранулометрії та маси, а також поверхневої та внутрішньої температури оброблених проб застосовували самоузгоджений статистичний метод вибірки. Частина згаданої бази даних включає результати одержані при випробуванні в організації Standard Laboratories of South Charleston, West Virginia, USA, 450 проб необробленого та обробленого вугілля, при цьому випробування включали визначення (у відсотках) вологості, зольності, летких речовин, зв'язаного вуглецю, теплотвірної здатності (у БТО/фунт) у стані постачання, для сухої речовини та беззольної речовини (визначення поняття подано нижче), вмісту форм сірки (загальної сірки, піриту, сульфату, органічної сірки у стані постачання та в сухій речовині), розмельної характеристики за Гардгровом (Hardgrove) (HGI), загального вмісту ртуті, температури плавлення золи та мінеральний аналіз золи.

С. Методики випробувань та визначення характеристик для оцінювання вугілля

Першою стадією було подрібнення проби та використання невеликої кількості проби для визначення вологості. Потім іншу частину тієї самої проби використовували для визначення зольності (термін "у стані постачання" означає, що до випробування пробу не піддавали жодним операціям обробки). Вираз "у сухій речовині" означає обчислене значення, для визначення якого беруть результат вимірювання у стані постачання і шляхом введення відповідної поправки одержують значення, яке відповідає випадку відсутності води у пробі. Теплотвірну здатність обчислюють таким самим способом, тобто визначають її значення для частини проби у стані постачання, а потім перераховують для випадку відсутності води (для сухої речовини). Потім виконують аналогічне обчислення для "сухої беззольної речовини", тобто одержують значення, яке відповідає випадку відсутності води та золи. Аналогічно визначають "форми сірки" у пробі в стані постачання та перераховують на суху речовину.

Було виконано випадкове вибирання та зіставлення візуальних характеристик та вимірних значень властивостей як при періодичному, так і при безперервному режимі обробки з метою одержання додаткового підтвердження, що ці результати є репрезентативними з точки зору очікуваних результатів обробки промислових кількостей вугілля (десятиків або сотень тонн на годину або більше).

Як частину бази даних використовували результати лабораторних вимірювань, виконаних на різноманітних зразках сирового та обробленого вугілля та на їхніх окремих компонентах, наприклад, золах, піриті та органічній сірці. Вимірювання включали визначення поглинання та відбивання широкого діапазону частот електромагнітного випромінювання. Для вимірювання змін у діелектричних властивостях вугілля, наприклад, змін, спричинених впливом досліджуваного процесу на хімічний склад, застосовували систему моніторингу діелектричних характеристик. Діелектричні властивості впливають на поведінку матеріалу під час електромагнітного опромінення.

Спочатку були випробувані невеликі кількості різних видів вугілля у спеціально спроектованому пристрої для мікрохвильового опромінення у відкритому просторі, де було застосовано хвилевід для виведення мікрохвильового випромінювання з мікрохвильової камери на відкриту поверхню, де можна було опромінювати малі проби вугілля при різних низьких рівнях потужності протягом різних проміжків часу, причому їх можна було спостерігати, контролювати характеристики та зважувати. Потім випробовувалися більші проби у різних камерах мікрохвильових печей. Ці системи печей мали камери різних розмірів та уможливлювали варіювання потужності та тривалості опромінення. Після підтвердження поліпшення більшості паливних властивостей вугілля у пробах малої та проміжної величини (до 5 фунтів - 2,2 кг) було розроблено систему з камерою збільшеного об'єму та розширеним діапазоном варіювання потужності, яка уможливлювала обробку проб масою до при-

близно 40 фунтів (18 кг) у періодичному режимі (дивись апаратуру показану на Фіг.13-15). Після того як ці випробування засвідчили забезпечення такого самого поліпшення паливних властивостей, які вважалися потрібними та були досягнуті при застосуванні менших систем обробки та на менших пробах, було виконано подальше збільшення масштабу шляхом розроблення проточної технологічної системи безперервної дії, здатної обробляти приблизно 1000 фунтів (450 кг) за годину (дивись Фіг.5-12). Технологічні випробування із застосуванням цієї проточної системи показали, що паливні властивості можна змінювати таким самим чином, як при випробуваннях на менших пробах у періодичному режимі; тобто методологію процесу за цим винаходом можна без утруднень адаптувати до широкого різноманіття типів вугілля та необхідних швидкостей обробки із забезпеченням досягнення бажаного поліпшення властивостей палива.

II. Методологія процесу

A. Загальна схема процесу

Послідовність етапів процесу можна у загальних рисах описати, як вказано нижче.

1) Вимірювання поглинання електромагнітної енергії вугіллям та його компонентами в широкому діапазоні частот електромагнітного випромінювання.

Вибравши електромагнітне випромінювання як основний активний чинник для оброблення твердих палив і, зокрема, вугілля, слід з'ясувати його вплив на вугілля та його окремі компоненти. Цю інформацію можна одержати з результатів вимірювання поглинання та відбивання електромагнітної енергії і, зокрема, діелектричної проникності матеріалів. Діелектрична проникність є невід'ємною властивістю матеріалу, і її можна використати для прогнозування реакції матеріалу на мікрохвильове або будь-яке інше електромагнітне опромінення. У цьому обговоренні терміни "електромагнітне" та "мікрохвильове" стосовно до випромінювання та опромінення є до певної міри еквівалентними. У всіх випадках доступний діапазон електромагнітного випромінювання охоплює частоти, конкретно вказані в інших місцях опису, які, згідно з деякими стандартами, можна розглядати як такі, що належать до діапазону нижчих "радіо"-частот, а не до вищих "мікрохвильових" частот у значеннях, у котрих ці терміни іноді вживаються.

Вимірювання поглинання та відбивання було виконано для кількох різних типів вугілля, як необроблених, так і оброблених; такі вимірювання можна виконувати також для кількох компонентів вугілля, наприклад, для золи, піриту та органічної сірки. Результати вимірювання поглинання електромагнітного випромінювання в діапазоні частот від 0,5 ГГц до 18 ГГц (від 500 МГц до 18000 МГц) представлено на Фіг.1 для необробленого (верхні криві) та обробленого (нижні криві) лігніту зі східного Техасу; було застосовано по 2 зразки кожного матеріалу. Ці вимірювання, як і всі виконані нами вимірювання поглинання, мають такі характерні риси:

- загальна тенденція до зниження поглинання в напрямку справа наліво відображає той факт, що це вугілля (як і всі типи вугілля) виявляє зниження ефективності поглинання електромагнітного ви-

проміння при зниженні його частоти; відповідно, проникнення радіації через вугілля на нижчих частотах зростає;

- піки при частотах приблизно 0,8 ГГц, 2,45 ГГц, 5,75 ГГц та 11,6 ГГц, а також пік, що починається приблизно при 18 ГГц, очевидно, зв'язані між собою. Наприклад, частота піка поглинання при приблизно 11,6 ГГц майже точно дорівнює подвоєній частоті попереднього піка поглинання при 5,75 ГГц. Ці ознаки виявлено при вимірюванні поглинання електромагнітного випромінювання у всіх випробуваних типах вугілля. Ми вважаємо, що ці ознаки відображають відгуки, характерні для одного або кількох основних компонентів вугілля або, можливо, відповідають обертальній енергії великої молекули (вуглеводневої або сірковмісної, або обох). Особливий інтерес становлять такі факти, що спостерігаються при всіх виконаних вимірюваннях поглинання: (а) вищезгадані ознаки ще спостерігаються для обробленого вугілля, але вказані піки в цьому разі значно зменшені у порівнянні з фоном; і (б) рівні поглинання як функції частоти для фона (зв'язаної води) та для піків значно знижені у обробленому вугіллі.

Діапазон частот, обраний для цих вимірювань, охоплює більшість мікрохвильових частот, при цьому нижчі частоти можуть лежати в межах радіочастотного діапазону, залежно від визначень цих термінів. Позначені частоти 0,322 ГГц, 0,460 ГГц, 0,915 ГГц та 2,45 ГГц відповідають основним електромагнітним частотам в межах цього діапазону, прийнятим для застосування у межах країни, а також деяким міжнародним частотам.

Найбільш поширеною є частота 2,45 ГГц, яка широко вживається у кухонних мікрохвильових печах у всьому світі. 0,915 ГГц є частота, вибрана в міжнародних масштабах для застосування при мікрохвильовому висушуванні, наприклад, при обпалі кераміки, висушуванні макаронних виробів, корму для тварин, арахісу, нетканних текстильних матеріалів тощо. Слід зазначити її близькість до двох вищезгаданих піків. Піки при приблизно 5,75 ГГц, приблизно 11,6 ГГц та приблизно 18 ГГц вказують на доцільність вибору цих частот як додаткових параметрів мікрохвиль у розгляданому процесі.

Ці дані забезпечують достатню вихідну інформацію для наступного необхідного етапу розроблення основної системи електромагнітного опромінення. Застосування цієї інформації ілюструється нижче (дивись п.7).

2) Обчислення глибини проникнення електромагнітного випромінювання у вологе та сухе вугілля при частотах випромінювання, доступних та прийнятних для застосування у мікрохвильових пристроях в країні та за її межами.

Для забезпечення подальшого з'ясування взаємодії електромагнітного випромінювання з вугіллям було виконано широкі теоретичні розрахунки на основі наших досліджень взаємодії електромагнітного випромінювання з матеріалами, виконаних у кількох лабораторіях, призначених для таких досліджень, на протязі періоду, що починався з кінця 1960-х років. Ці розрахунки включають визначення впливу поглинання та відбивання електромагнітного випромінювання із застосуванням різних фізич-

них параметрів для вологого та сухого вугілля, для шарів вугілля, як щільних, так і з повітряними прошарками, та температурних ефектів та глибин проникнення при широкому різноманітті вихідних параметрів. Допоміжні лабораторні вимірювання із застосуванням електромагнітного випромінювання включали дослідження впливу розміру, форми, шорсткості поверхні та електромагнітних властивостей частинок вугілля.

Результати обчислення глибини проникнення при кожній з вищезазначених чотирьох частот показано на Фіг.2. Хоча розрахунки виконувалися для незв'язаної або вільної води при 25°C (властивості залежать від температури), характеристики різниці глибини проникнення при різних частотах можна у першому наближенні віднести також до вугілля, особливо до вугілля з високою вологістю. Згадані різні показники проникнення різко зростають при переході до нижчих частот. Наприклад, глибина проникнення електромагнітного випромінювання у воду при частоті 0,322ГГц більш ніж у 30 разів перевищує глибину при частоті 2,45ГГц. Важливо відзначити, що у наших лабораторних дослідках оброблення вугілля досягалася глибина проникнення на частоті 2,45ГГц у 3-4 рази більша (для різних видів вугілля) у порівнянні з прогнозованою. На нашу думку, ця різниця значною мірою пов'язана з тим, що вода розподілена у вугіллі випадковим чином і не має форми одного або кількох шарів, тобто існують шляхи проходження через вугілля, на яких електромагнітне випромінювання не зустрічає води або зустрічає лише невеликі кількості води і, отже, в таких місцях легше проникає у вугілля або, в деяких випадках, проходить безпосередньо через вугілля. Крім того, при підвищенні температури вугілля та вологості, захопленої ним, проникнення значно зростає. Додатковим, хоч і менш значущим чинником є відмінності у властивостях вільної та зв'язаної води. Важливо відзначити, що температура поверхні вугілля в процесі оброблення найчастіше становить 70°C або вище, особливо у випадках, коли необхідно знижувати вміст сірки та зольність. Оскільки внутрішня температура може навіть перевищувати температуру поверхні, глибоке проникнення можна забезпечити шляхом відповідного вибору робочої частоти електромагнітного випромінювання та приділення належної уваги значенням температури, вимірюваним у процесі обробки.

Важливість таких вимірювань, особливо у випадку зневоднення, випливає з того, що збільшення глибини проникнення при переході до нижчих частот із надлишком компенсує відносно незначне зниження ефективності поглинання води (Фіг.1). Ця залежність безпосередньо сприяє задоволенню потреби у збільшенні товщини шару оброблюваного вугілля при забезпеченні високої продуктивності, придатної для промислових виробництв.

3) Визначення властивостей сирового вугілля

Вигляд вугілля лежить у межах від м'якого вологого коричневого матеріалу до дуже твердої блискучої чорної речовини, і за своїми фізичними та хімічними властивостями види вугілля можуть значно відрізнятися один від одного залежно від характеру, місця та часу відкладання вихідних матеріалів, типів органічних речовин, присутніх у

вихідному матеріалі, та його змінами з часом. Розміри та форма частинок, твердість, леткість, вміст вуглецю, слідових мінералів, характеристики згоряння та інші властивості кожного типу вугілля варіюють у широких межах від родовища до родовища та в межах кожного родовища або пласта.

Визначаються такі властивості сирового вугілля, вибраного для оброблення: вологість, теплотвірна здатність, зольність, форми сірки (наприклад, пірит, сульфати, органічні сполуки), розміри частинок, структура та твердість (подрібнюваність). Першим етапом при визначенні властивостей будь-якого видобутого або доставленого з місця видобутку вугілля, придатність якого для оброблення визначається, є відбирання проб вугілля за прийнятими стандартами. До таких стандартів належать стандарти ASTM D 388 (Класифікація вугілля за сортами (Classification of Coals by Rank)), D 2013 (Спосіб підготовки проб вугілля для аналізу (Method of Preparing Coal Samples for Analysis)), D 3180 (Стандартна методика перерахування одержаних значень результатів аналізу вугілля так коксу на різні основи (Standard Practice for Calculating Coal and Coke Analyses from As-Determined to Different Bases)) та Бюлетень 1823 Служби геологічного нагляду США (US Geological Survey) (Способи відбирання проб та неорганічного аналізу вугілля Methods for Sampling and Inorganic Analysis of Coal)). Деякі види вугілля та лігнітів характеризуються значними відмінностями у структурі (наприклад, однорідна, шорстка, пластинчаста), забарвленні (наприклад, коричневі, як деякі пілоподібні азійські лігніти, чорні тверді лігніти східного Техасу, лінійчасті, смугасті, плямисті) та складні (наприклад, важкі або легкі з видимими включеннями золи та піриту або деревини у деяких лігнітах), вологості або сухості, розподілі частинок за розміром тощо. Деякі сирові проби також відбирають для випробувань на основі тільки характеристик, що піддаються спостереженню, і деякі проби, які мають випадковим чином змішані згадані характеристики, відбирають також із міркувань повного аналізу кожної з численних відмінностей, які спостерігаються у вугіллі. У зв'язку з відсутністю єдиного стандарту, який враховував би таке різноманіття, було розроблено всеосяжний та узгоджений спосіб відбирання проб, при якому жодна з таких відмінностей не залишається поза межами розгляду.

З урахуванням того, що метою розгляданої технології обробки вугілля є поліпшення усіх паливних властивостей вугілля, наступним етапом є вибір досвідченої та загальноновизнаної лабораторії (наприклад, фірми Standard Laboratories, Inc.), атестованої на право випробувань найширшого можливого різноманіття фізичних та хімічних властивостей вугілля. Може бути виміряна кожна з таких характеристик вугілля: вологість, зольність, вміст летких речовин, вміст зв'язаного вуглецю (усі характеристики у відсотках), теплотвірна здатність (у стані постачання, сухої речовини, сухої та беззольної речовини), форми сірки (загальної, піриту, сульфатів та органічної сірки у відсотках у стані постачання та для сухої речовини), розмельна характеристика Гардгроу (HGI), вміст ртуті (мгн.⁻¹

у сухій речовині), температура плавлення золи та мінеральний склад золи. Застосовані в цьому переліку терміни відповідають визначенням, даним Standard Laboratories, і є загальноновживаними у фахівців із випробувань вугілля; їх визначення подано в іншому місці.

Важливо (а) випробовувати досить значну кількість проб, щоб з надлишком охопити усі зразки, вибрані з міркувань відмінності їхнього зовнішнього вигляду; (b) передавати в лабораторію більшу кількість кожної проби, ніж необхідно для випробувань; (c) ретельно документувати у кожному випадку критерії, що бралися до уваги при відбиранні проби; і (d) залишати контрольну пробу кожної партії сирового вугілля, зразок якої надсилається на випробування. Після одержання результатів випробувань та залишків проб, не використаних випробувальною лабораторією, важливо ретельно зареєструвати результати, наприклад, у формі великоформатної таблиці (наприклад, із застосуванням програмного забезпечення Excel™), яка дозволяє виконувати різноманітні статистичні вибірки, усереднення тощо. Важливо також ретельно вивчити результати випробувань, щоб виявити можливі кореляції між результатами випробувань та різними критеріями відбирання проб, в тому числі з виявленими відмінностями у зовнішньому вигляді. Таким чином можна повно та правильно охарактеризувати розподіл діапазону властивостей, які можна вважати репрезентативними середніми характеристиками партії вугілля, з якої відбиралася проба.

4) Визначення цілей обробки (тобто бажаних властивостей та кількостей, що підлягають обробленню)

Цілі обробки, як правило, а практично навіть взагалі завжди, визначаються організацією, яка бажає поліпшити властивості вугілля власного видобутку або вугілля, одержаного від інших постачальників для власних конкретних потреб. Для цих цілей можуть належати поліпшення однієї або кількох паливних властивостей вугілля, причому це поліпшення може стосуватися усієї кількості вугілля або ж завдання може полягати в обробці деякої кількості вугілля з досягненням підвищених порогових значень властивостей та змішуванні поліпшеного вугілля з необробленим вугіллем для досягнення бажаних середніх властивостей. Наприклад, електростанції, де спалюються низькосортні лігніти з низькою теплотворною здатністю, часто завозять вугілля вищої сортності із західних родовищ для змішування з низькосортним паливом із метою зменшення кількості викидів та досягнення вищої ефективності виробництва.

Інші важливі міркування стосуються потрібної продуктивності. Для дрібних споживачів, які витрачають за рік лише 25000-50000 тонн вугілля, більш економічним варіантом може бути обробка в періодичному або змішаному періодично-безперервному режимі. В останньому випадку застосовуються контейнери або барабани, які завантажують вугіллем, переміщують у відповідне положення до системи обробки електромагнітним випромінюванням, піддають обробленню, відстороняють від вузла обробки, переміщують вздовж лінії обробки до її виходу і вивантажують (перекида-

ють), одночасно чергові контейнери, завантажені вугіллем, переміщують у положення для обробки. При дуже великих продуктивностях, необхідних у більшості випадків використання та обробки вугілля, обробку слід виконувати у безперервному режимі. Ця обставина висуває одну з найскладніших вимог до будь-якої технологічної системи і є однією з кількох причин того, що колективи науковців та інженерів-технологів невтомно працювали протягом десятиліть над розробленням корисних та економічних засобів обробки вугілля перед спалюванням, але всі їхні зусилля були безуспішними. Значення продуктивності при проектуванні та експлуатації технологічної системи ілюстровано прикладом, поданим нижче у розділі 7.

5) Застосування дрібномасштабних (10-40 фунтів, 5-20 кг) лабораторних випробувань для визначення реального впливу основних параметрів процесу на кожний вид вугілля

Вугілля піддають попереднім випробуванням у лабораторному устаткуванні для визначення, передусім, відгуку вугілля на вплив технологічної системи, що розробляється для застосування у промислових умовах. Інформація, одержана при цих випробуваннях, гарантує, що технологічна система дійсно може забезпечити досягнення цілей, для яких вона розробляється. З партії вугілля систематично відбирають проби та обробляють її для забезпечення результатів, які є важливими вихідними даними при розробленні основних вузлів технологічної системи.

При випробуваннях застосовують універсальну лабораторну технологічну систему, розроблену спеціально для цієї мети. Лабораторна система має такі характеристики:

- частота мікрохвильового випромінювання становить 2,45 ГГц. Згідно з інформацією, одержаною з Фіг.1 та Фіг.2, вугілля можна "попередньо обробити" при частоті, відмінній від робочої частоти системи, призначеної для промислових умов, а потім зіставити результати, одержані при цій частоті, з очікуваним впливом частоти промислової системи. Цю кореляцію додатково підтверджено чудовою узгодженістю властивостей вугілля, досягнутих при обробці вугілля тієї самої партії із застосуванням двох різних частот у безперервному режимі та однієї з таких частот у періодичному режимі;

- для опромінення проб застосовується герметична мікрохвильова камера, яка завантажується спереду, де можна обробляти від 10 фунтів до 40 фунтів (5-20 кг) вугілля. При обробці менших кількостей складніше гарантувати достатню обробку проб для цілей надійної оцінки їх відгуку на вплив багатопараметричної системи, розробленої для обробки вугілля у промислових умовах;

- система дозволяє варіювати застосовувану потужність електромагнітного випромінювання, встановлюючи будь-яке її значення в межах від кількох сотень Ватт до понад 3000 Вт. Ця універсальність частково забезпечується застосуванням трьох магнетронів, причому навантаження прикладається циклічно з дуже короткими інтервалами, що приблизно є еквівалентним можливості миттєвого варіювання рівнів потужності;

- вищезгадані три магнетрони ретельно встановлені в положеннях, які забезпечують правильну орієнтацію поля. Наприклад, вихідний сигнал кожного з трьох магнетронів 1002 можна окремо виводити у технологічну камеру через хвилевід прямокутного перерізу, в який включено тюнер 1003 та порт 1004 моніторингу потужності (дивись Фіг.13). Напрямок поляризації мікрохвиль, а також коливання електричного поля перпендикулярні ширшій стороні отвору магнетрона на вході в камеру. Будь-які дві вхідні поляризації мають бути відповідно орієнтовані, тобто бути взаємно перпендикулярними, з метою зведення до мінімуму зв'язування між двома відповідними магнетронами. Аналогічно, усі три входи відповідно розташовані в камері так, що небажані взаємодії між магнетронами зведено до мінімуму. Магнетрони можна використовувати поодиночці або спільно, з регулюванням потужності окремо для кожного. Регулювання (або встановлення) положення та глибини рухомого зонда у вищезгаданому тюнері забезпечує ефективний потік мікрохвильової енергії внаслідок так званого "узгодження імпедансу" між джерелом та навантаженням. Настроювання тюнера легко контролюється за допомогою детектора, з'єданого з портом 1004, як показано на Фіг.13. Виконують широкі випробування часового та температурного режимів із застосуванням води, при цьому на кожному порті 1004 моніторингу мікрохвильової потужності вимірюють потужність, що надходить у камеру, а вимірювання підвищення температури конкретної кількості води, встановленої в різних місцях камери, характеризує реальну потужність, що поглинається. Випробовують та перевіряють змішування режимів (тобто розподілу або форм електромагнітних хвиль у камері). Виконують калібрування. Для забезпечення стабільності режиму в камері та роботи джерел енергії застосовують окрему інтенсивну вентиляцію кожного з цих вузлів;

- система уможливорює також регулювання витрати повітря з домішкою інертного газу або без неї. Для примусового введення повітря система має вхідний канал, а для виведення та вловлювання захоплених потоком повітря рідин та газів, що вивільнюються в камері, призначені відповідні вихідні канали та вловлювачі. Доцільно мати один порт для дистанційного вимірювання температури поверхні вугілля в камері під час обробки.

Ця система не вимагає вимірювання вологості, зольності, вмісту сірки або слідових мінералів, а також систем зворотного зв'язку, з'єднаних з органами контролю та регулювання процесу. Для цілей, вказаних вище, придатною є будь-яка система, що має аналогічні можливості.

Першим етапом випробування вугілля організації Standard Laboratories та іншими лабораторіями для випробування вугілля є подрібнення проб у порошок, після чого визначають потрібні властивості. Обробка повернених порошкоподібних проб не відповідала б обробці вугілля у промисловій практиці, тому необхідно показати, що обробка вугілля у стані постачання дає такі самі результати, як обробка того самого вугілля, але з подрібненням у порошок перед обробленням. В іншому разі довелося б брати до уваги додаткові

неприйнятні витрати часу та коштів на подрібнення вугілля на руднику або на електростанції перед обробленням.

Виходячи з вищезазначених міркувань, було вирішено завжди обробляти вугілля у стані постачання, а не подрібнені проби, повернуті Standard Laboratories після випробувань. Для забезпечення більшої репрезентативності результатів у порівнянні з результатами випробувань вугілля перед обробленням та після нього, з кожної партії вугілля, що підлягала обробленню, відбирали дві різних сукупності зразків. Такий підхід вимагає випробування достатньої кількості проб з кожної сукупності зразків сирового та обробленого вугілля для забезпечення статистичної значущості методології та правильності характеристики середніх властивостей сирового та обробленого вугілля. Висока відтворюваність результатів виконаних вимірювань надійно свідчить на користь такого підходу; наприклад, різні проби з точно однаковими значеннями початкової маси втрачають точно однакову масу при обробленні за однією методикою. Навпаки, нам не вдалося досягти ні однакової ефективності технологічної системи, ні узгодженості результатів при обробленні подрібнених у порошок проб того самого вугілля.

Слід зазначити, що цей етап процесу призначений для додаткового визначення та уточнення проекту технологічної системи стосовно до конкретних видів вугілля, і він не може замінити повномасштабні випробування системи в її кінцевому вигляді.

б) Збирання базової інформації для кожного виду вугілля

Збирають базову інформацію стосовно до кожного виду вугілля, що має оброблюватися, яка включає, наприклад, місцезнаходження вугілля (на місці видобутку або використання), його кількості та способи транспортування (стрічкові конвеєри, автотранспорт, водний та/або залізничний транспорт), доступна площа для розміщення системи, наявна електрична потужність та кошти, а також найкращі способи переміщення вугілля до системи обробки та від неї. На розміщення системи, її розміри, конфігурацію та конструкцію безпосередньо впливають такі обставини, як наявність відповідних джерел електроенергії та води на місці видобутку або поблизу електростанції, доступна площа для розміщення системи (як правило, обмежена на електростанціях), а також засоби та швидкості транспортування вугілля. На більшості підприємств вуглевидобутку та електростанцій для транспортування вугілля застосовуються стрічкові конвеєри, що характеризуються широкою різноманітністю розмірів, швидкостей та матеріалів стрічок. Оскільки очікується, що для транспортування вугілля до системи обробки та від неї, а в деяких випадках навіть через камеру обробки, вхідні та вихідні вузли технологічної системи мають відповідати за конструкцією та розмірами існуючим конвеєрним системам. Якщо стрічковий конвеєр застосовується для транспортування вугілля через камеру обробки, його матеріали набувають особливого значення, і це слід брати до уваги як при розробленні, так і при експлуатації технологічної системи; наприклад, металеві або неметалеві ма-

теріали стрічок (які відповідно відбивають або поглинають електромагнітну енергію) спричиняють різко відмінні один від одного електромагнітні ефекти, а сита відокремлюють дрібні фракції, які можуть викликати механічні утруднення у транспортній системі.

Питоме навантаження на стрічку конвеєра та її швидкість також безпосередньо визначають продуктивність та умови роботи технологічної системи залежно від того, проходить конвеєрна стрічка через камеру обробки або є частиною системи подання вугілля в систему обробки.

7) Застосування інформації, одержаної на попередніх етапах 1-6, для розроблення проекту основної технологічної системи для кожної партії вугілля, вибраної для обробки

Нижче коротко описано приклад розроблення технологічної системи на основі електромагнітного опромінення для одержання конкретної паливної характеристики або характеристик обробленого конкретного твердого палива або типу вугілля.

Вихідні припущення, вимоги та варіанти

Сировий лігніт із вологістю 36% та теплотворністю 7300БТО/фунт (4060ккал/кг) (відповідає вугіллю за Таблицею 3 розділу "Експериментальні результати", поданого нижче) переробляють із метою досягнення вологості 23% та теплотворності 8000БТО/фунт (4450ккал/кг). Оскільки в Таблиці 3 подано результати обробки дуже малої проби (кілька фунтів) при помірному рівні потужності (5-20кВт) протягом короткого часу (10-120с), метою цього прикладу є подання рекомендацій з перероблення того самого вугілля у значно більших кількостях і, отже, при значно вищій потужності, але при порівнянному часі обробки.

Задана потужність становить 10тонн за годину (т/год), або 66000тонн за рік (при тривалості роботи 20год на добу протягом 330 діб). Лігніт перероблюється безперервним способом. Продуктивність (у даному разі 10т/год), як правило, встановлює споживач на основі поточної продуктивності по видобутку або по тій частині видобутку, яка підлягає обробленню, та існуючих систем транспортування вугілля або їхніх модифікацій, необхідних для транспортування кількості вугілля, призначеної для обробки.

Оскільки найбільші грудки лігніту на виході з типових рудничних установок для первинного подрібнення мають найбільший розмір приблизно 8дюймів (20см), вхідна щільна камери обробки та інші канали для проходу вугілля мають висоту 9-10дюймів (23-25см). В іншому разі застосовується стадія попередньої обробки для відділення найбільших грудок або їх подрібнення на менші шматки. Розміри камери є важливим і часто обмежувальним проектним параметром системи для електромагнітного опромінювання (дивись нижче).

Щодо вибору частоти електромагнітного випромінювання дивись Фіг.1 та Фіг.2.

Магнетрони (основні елементи, що генерують мікрохвилі) з робочою частотою 2,45ГГц застосовуються, головним чином, для лабораторних, промислових та побутових мікрохвильових печей низької потужності, і магнетрони високої потужності (наприклад, 75кВт або більше), необхідні для ефектної обробки вугілля описаними в цьому доку-

менті способами, не виробляються. Крім того, частота 2,45ГГц не забезпечує глибини проникнення, необхідної при обробці згаданої кількості вугілля та товщини шару на носії. Розміри хвилеводу та камери, що відповідають оптимальній конструкції систем електромагнітного опромінювання (високої ефективності, рівномірності та безпечності), при згаданій частоті надто малі для застосування для обробки вугілля з розміром грудок більше ніж 1-2дюйми (2,5-5см).

Для багатьох процесів висушування електромагнітним випромінюванням цілком сприятливою є частота 0,915ГГц, і на ринку наявні різноманітні магнетрони такої частоти потужністю 75кВт та 100кВт, які випробувані в практиці і які можна об'єднувати в комплекти для досягнення рівнів потужності, необхідних для великомасштабної обробки вугілля (дивись нижче). Внаслідок обмеженої глибини проникнення та малих розмірів систем електромагнітного опромінювання застосування цієї частоти обмежується обробкою відносно дрібнозернистих видів вугілля при невеликій продуктивності.

Магнетрони із частотою генерованого випромінювання 0,460ГГц не виробляються у Сполучених Штатах, і їх експлуатація та обслуговування, як і забезпечення гарантованих схем постачання, утруднені.

Магнетрони із частотою генерованого випромінювання 0,322ГГц є відносно новою продукцією на промисловому ринку; у США їх випускають численні компанії.

При оброблюванні, наприклад, 10 коротких тонн (20000фунтів; 1 коротка тонна=906кг) вугілля за годину зниження вологості на 13% відповідає видаленню 260фунтів води на коротку тонну (130кг на метричну тонну) води, або, в даному разі, 2600фунтів (1300кг) води за годину.

Визначення маси проби перед обробленням та безпосередньо після нього забезпечує інформацію, яку можна безпосередньо зв'язати зі зниженням вологості. При додатковому визначенні маси через 30хв після закінчення обробки та через 24год завжди спостерігається додаткове зменшення маси, що додає 3-5% до загальної втрати маси після оброблення. За дуже обережними оцінками, застосування фази попереднього нагрівання (наприклад, із використанням теплового або інфрачервоного випромінювання, що відрізняється частотою від застосовуваного пізніше електромагнітного випромінювання, в окремій камері або в окремій частині камери обробки) перед активним обробленням електромагнітним випромінюванням може дозволити додатково зменшити масу на 2-3%. Враховуючи такі обставини, у цьому прикладі цільове зниження вологості на 13% можна оцінювати зменшити до 8%; саме такий результат має забезпечити стадія оброблення електромагнітним випромінюванням. Це зменшення за рахунок попереднього нагрівання означає, що необхідно видалити шляхом електромагнітного опромінення 160фунтів на коротку тонну (80кг/т) води замість 260фунтів на коротку тонну (130кг/т), потрібних у даному варіанті.

При к.к.д. 100% 1кВт електромагнітної енергії забезпечує випарювання 3,05фунта (1,38кг) води

за годину при температурі навколишнього середовища. У добре спроектованих системах електромагнітного опромінювання поглинається та перетворюється у тепло 98% цієї енергії. Зазначимо, що 1кВт випроміненої електромагнітної енергії вимагає витрат приблизно 1,15кВт електроенергії і забезпечує випарювання 2,989фунтів (1,35кг) води. Таким чином, для видалення 160фунтів (72,5кг) вологи потрібно 61,6кВт електроенергії [тобто $(160\text{фунтів} \times 1,15\text{кВт} \times 100\text{кВт випромінюваної електромагнітної енергії}) / 2,989\text{фунта}$]. З вищезазначеного одержуємо потребу в електроенергії 533кВтгод $[(20000\text{фунтів} / 300\text{фунтів води}) \times 8\% \times 100\text{кВт}]$. Отже, можна застосувати три окремих системи потужністю по 200кВт. Системи обробки можна застосовувати паралельно або послідовно, залежно від наявних площ для розміщення систем та транспортувальних систем, які відповідають даному розміщенню.

Інші параметри процесу та спостереження

- Час обробки або час перебування вугілля у конвеєрній системі обробки

Час обробки (на протязі якого пробу піддають опроміненню) становить у типових випадках від 5с до 45хв, залежно від розмірів та форми камери обробки, наявної потужності електромагнітного випромінювання та величини проби. Малі проби вимагають меншого часу обробки (дивись Таблицю 3). Час перебування для процесу високої продуктивності можна визначити шляхом відповідних масштабних перетворень, але сучасні обмеження потужності дозволяють досягти високої продуктивності (сотень тонн на годину) тільки шляхом поєднання кількох окремих систем обробки.

- Атмосфера в камері

Для видалення рідин та газів, що вивільнюються у процесі обробки, забезпечується потужний потік повітря. При недостатньому потоці повітря волога конденсується на стінках камери, що призводить до втрат електромагнітної енергії та утворення дуги і можливого спалахування, якого слід уникати. Потрібна витрата повітря залежить від розмірів камери обробки, величини проби, яку піддають обробці, кількості побічних продуктів, що вивільнюються у простір камери, температури повітря тощо. Найпростішим способом перевірки достатності витрати повітря є періодичне припинення обробки для слідування за станом стінок камери (наявності вологи на них). Одночасно доцільно слідувати за розтріскуванням вугілля та його можливим посірінням або почервонінням, яке може бути наслідком локального нагрівання. Нарешті, якщо спостерігається вихід побічних продуктів із камери через трубопроводи або вловлювачі, можна вважати повітряний потік адекватним.

- Температура вугілля

Для видалення тільки вологи температуру поверхні вугілля слід утримувати на рівні 100°C або нижче. Цей показник легко контролюється за допомогою ручних інфрачервоних датчиків температури або дистанційно із застосуванням теплових зондів, розміщених всередині камери.

- Застосування інертного газу

Якщо температура вугілля підтримується на рівні, рекомендованому для зниження вологості, то спалахування або горіння не очікується, і в за-

стосуванні інертного газу немає потреби. У варіантах, де використовується інертний газ, його можна пропускати через камеру зі швидкістю щонайменше 15 кубічних футів (0,4м³) на годину.

- Водень

Для зниження вологості газоподібний водень не потрібен. Однак він може застосовуватися під час фази зниження вмісту сірки.

- Системи поточного контролю вологості, зольності, вмісту сірки, слідових мінералів та температури

На практиці системи вимірювання та зворотного зв'язку пов'язані з регулюванням параметрів процесу, наприклад, електричної потужності, потужності електромагнітного випромінювання (з можливістю варіювання як рівня потужності, так і циклу вмикання-вимикання навантаження) та часу обробки з метою досягнення цільових рівнів властивостей вугілля та уникнення недостатнього або надмірного рівня обробки.

У цьому прикладі, за умови додержання всіх вищезазначених рекомендацій, потрібне лише варіювання випромінюваної електромагнітної енергії та часу опромінення і має контролюватися лише температура поверхні вугілля.

- Випробування паливних властивостей на місці та в лабораторіях сертифікації вугілля

Оскільки існує пряма кореляція між втратою маси та зниженням вологості, визначення маси перед обробкою та після неї і навіть під час обробки має бути складовою частиною технологічного режиму. Нарешті, лабораторії випробування вугілля можуть забезпечити швидке та точне вимірювання вологості та теплотворної здатності з метою подальшого підтвердження досягнення заданих рівнів.

8) Вивчення вимог локальних, штатних та федеральних дозвільних та регулювальних документів та їх впливу на конструкцію та експлуатацію системи обробки, в тому числі на вловлювання побічних продуктів та поводження з ними

Чи можливо розробити суху одностадійну систему обробки, яка відповідала б усім вищезгаданим вимогам? Коротко кажучи, можливо, проте перед закінченням проектування розумної системи обробки, здатної забезпечити конкретні цільові властивості конкретного вугілля, слід попередньо ретельно вивчити вимоги місцевих, штатних та федеральних дозвільних та регулювальних документів, які стосуються місцевості, де буде застосовуватися система обробки; ці вимоги здатні вплинути і часто впливають як на конструкцію, так і на експлуатацію системи обробки вугілля. З урахуванням таких вимог вищезазначену основну технологічну систему можна в разі потреби модифікувати.

Гірничі підприємства та теплоелектростанції й інші комунальні підприємства на вугіллі керуються різними сукупностями вимог, наслідком чого часто бувають відмінності у конструкціях та експлуатаційних режимах систем обробки між цими двома класами підприємств і навіть у межах одного класу. Наприклад, багатьом електростанціям та іншим підприємствам доводиться попередньо домагатися дозволу на обробку та спалювання будь-якого вугілля, що відрізняється за властивостями

від вугілля, дозволеного для використання на даний час, навіть якщо вищий ступінь чистоти та екологічні переваги цих "нових" видів вугілля посвідчені документально. При цьому може видатися необхідним навіть проектування систем обробки з урахуванням задоволення певних вимог до спалювання, що можуть стосуватися окремої системи або сукупності систем, наприклад, обмеження викидів SO_2 або NO_x або CO_2 . Деякі з цих вимог аналогічні за змістом часто застосовуваному терміну "положення про вплив на довкілля". До прикладів таких вимог належать:

- Вимоги до рідких, твердих та газоподібних викидів від процесу

Рідкі, тверді та газоподібні викиди можна регулювати за допомогою елементів, показаних на Фіг.4. Навіть система, яка затримує всі побічні продукти її експлуатації, має бути сертифікована на відповідність законодавчим вимогам до вловлювання викидів та поводження з ними.

- Вимоги до запахів, що виникають при проведенні процесу

Затримання побічних продуктів процесу саме по собі не виключає виникнення неприємних запахів, проте їх інтенсивність можна звести до мінімуму за допомогою системи виведення побічних продуктів повітряним потоком. В разі присутності значних залишкових запахів може бути необхідним додання до повітряно-носія матеріалів, які поглинають або іншим способом послаблюють запахи до мінімального рівня.

- Вогнебезпечність та вибухобезпечність

Для задоволення цих вимог існують стандартні методи та системи, наприклад, датчики температури, інфрачервоні детектори та оптичні системи спостереження.

- Боротьба із запиленням

Окрім загальних проблем запилення, характерних для середовища, в якому виконуються будь-які операції з вугіллям, в даному разі вивільнення пилу пов'язане, головним чином, з подаванням вугілля в камеру та виведенням із неї. Оскільки очікується, що таке транспортування вугілля буде виконуватися частково із застосуванням існуючих конвеєрів, кількість зовнішнього пилу має бути мінімальною. Пил, що утворюється в системі, можна вловлювати за допомогою системи обробки побічних продуктів.

- Вимоги щодо забруднення повітря (в тому числі туманом), хімічних речовин та небезпечних матеріалів

Перед постачанням замовнику систему слід піддати кваліфікаційним випробуванням для підтвердження відсутності або практичної відсутності забруднення повітря. В системі не застосовуються і в систему не вводяться будь-які хімічні речовини або небезпечні матеріали, окрім можливого застосування інертного газу, який не вважається небезпечним матеріалом.

- Безпечність та екранування електромагнітного випромінювання

Безпечні рівні дії мікрохвильового випромінювання дуже жорстко обмежені і встановлюються законодавчими актами, які вимагають сертифікації будь-якого процесу, де застосовується мікрохвильове випромінювання, на відповідність цим рівням та рекомендаціям. Численні виробники

великомасштабних мікрохвильових сушильних систем виконують ці вимоги шляхом виконання своїх систем у таких конфігураціях, які спричиняють їх непрактичність та непридатність для застосування при високих продуктивностях, необхідних для обробки вугілля.

Одне з рішень полягає у застосуванні розробок тих виробників мікрохвильових систем, які зосереджені на мінімізації або повному виключенні витоку мікрохвильової енергії, тобто не мають витоків, які піддаються виявленню. Слід зазначити, що матеріали, які виходять із мікрохвильової камери після обробки, ще випромінюють мікрохвильову енергію протягом короткого часу навіть після виходу із зони дії мікрохвиль, хоч рівні такого випромінювання дуже низькі; це стосується навіть продуктів харчування після обробки у кухонних мікрохвильових печах. Окрім внутрішніх конструкцій систем, які забезпечують витік мікрохвиль, системи можна екранувати ззовні за допомогою відповідно розміщених металевих екранів та металевої стрічки конвеєра. У всіх випадках проводяться регулярні та систематичні огляди з метою виявлення витоків мікрохвиль для забезпечення належної дії систем безпеки. Детектори витоків мікрохвиль можна придбати на ринку або розробити та виготовити для конкретного застосування.

9) Модифікування основної технологічної системи

Основну технологічну систему модифікують в разі потреби з урахуванням інформації, вказаної вище у п.8.

10) Проектування, виготовлення та випробування кожної з чотирьох основних підсистем

Проектують, виготовляють та піддають окремим випробуванням кожну із чотирьох основних технологічних підсистем (тобто систему попереднього нагрівання, систему електромагнітного випромінювання, багатопараметрову систему вимірювань та зворотного зв'язку та систему обробки побічних продуктів).

11) Поєднання та функціональне випробування чотирьох згаданих підсистем при спільній експлуатації

Наступним етапом є об'єднання та функціональне випробування чотирьох згаданих підсистем при спільній експлуатації з подальшими повними кваліфікаційними та контрольними випробуваннями, які виконують із використанням проб партії вугілля, для обробки якої розроблено процес.

Вищезгадані етап 10 та етап 11 уможливають одержання випробуваної, ефективної та стандартизованої методології для розроблення головної системи, яка складається з кількох підсистем і застосовується в лабораторних та промислових умовах і навіть в океані, атмосфері та космічному просторі, де устаткування часто має експлуатуватися з дистанційним керуванням.

12) Монтаж на місці застосування

Після успішного завершення повного випробування повномасштабної технологічної системи цю систему, розроблену та випробувану для потреб конкретного замовника, транспортують до місця її експлуатації. Після прибуття на місце систему додатково випробовують для перевірки на відсут-

ність змін, спричинених вантажними та транспортними операціями. Потім технологічну систему переміщують у призначене положення та поєднують із місцевими системами обробки вугілля або відповідними модифікаціями таких систем, системами живлення електроенергією, водою та повітрям або інертним газом згідно з вимогами і піддають додатковим випробуванням, після чого вводять в експлуатацію.

В. Регулювання, моніторинг та догляд

За відсутності регулювання, спрямованого на зміну послідовності стадій шляхом вибору частоти або інших параметрів, результатами процесу є розтріскування вугільної матриці з подальшим вивільненням вологи, а потім послідовно золи та сірки. Для деяких видів вугілля ці стадії є окремими та чітко розрізняються, а для деяких перекриваються, наприклад, вивільнення золи та сірки починається ще під час вивільнення вологи.

Для забезпечення певного ступеня кількісного контролю процесу та його моніторингу вимірюють температуру поверхні вугілля в кількох місцях камери обробки під час обробки вугілля. Оскільки розміри, форма та властивості грудок вугілля не є однорідними, і вугілля не розподіляється рівномірно на конвеєрі, такі вимірювання температури можна розглядати як засіб одержання середніх репрезентативних даних. Крім того, оскільки вугілля розтріскується, деякі значення вимірюваної температури наближаються до внутрішніх температур, які, як правило, є дещо вищими. Метою такого моніторингу є уможливлення уникнення значних відмінностей у температурі шляхом регулювання за потребою потужності мікрохвильового випромінювання в таких місцях.

Вологу, що вивільнюється з вугілля, можна вловлювати будь-яким з різноманітних способів, необмежувальні приклади яких подано нижче:

- вологу можна конденсувати на стінках камери та примушувати за допомогою сухого повітря стікати вниз у систему збирання та зберігання, розташовану під камерою обробки;

- зволожене повітря можна витіснити з камери сухим повітрям (під тиском) в напрямі вздовж осі камери обробки з подальшим видаленням вологи з повітря шляхом конденсації;

- зволожене повітря можна відсмоктувати з камери при подаванні сухого повітря (під тиском нижче атмосферного) з подальшим видаленням вологи з повітря шляхом конденсації; дрібні частинки твердих матеріалів (не пил) переносяться повітрям у камеру вловлювання, де вони збираються, відділяються від газового потоку та нагромаджуються.

Якщо головними або єдиними потрібними змінами властивостей вугілля є зниження вологості та підвищення теплотворної здатності, в систему може бути включена поточна система аналізу вологості та зворотного зв'язку. Ця система уможливорює визначення моменту, коли обробка забезпечує рівень вологості, при якому досягається бажана теплотворна здатність, після чого система здатна змінити режим обробки або припинити її.

Якщо головними або єдиними потрібними змінами є конкретні величини зниження зольності та вмісту сірки, то в систему може бути включений

поточний аналізатор рівня хімічних речовин (золи та сірки). Як і у вищезгаданому випадку, для зміни режиму обробки або її припинення може бути факультативно застосована система зворотного зв'язку. Факультативно в разі потреби можна використовувати автономну станцію відбирання проб, зважування та випробування.

На практиці та для більшості видів вугілля потрібний мінімальний об'єм відбирання проб та випробувань, і оператор може застосувати попередній досвід для визначення моменту досягнення бажаних властивостей вугілля. Вугілля вивантажується з камери обробки у приймальний жолоб, сконструйований з урахуванням розміщення системи та продуктивності процесу (тонн на годину); наприклад, цей жолоб може бути призначений для подавання на завантажувальну станцію, поєднаний з іншим конвеєром тощо.

Як наслідок, така методологія процесу, придатна для застосування у системах, виконаних за замовленням, може забезпечити одержання запроектованого вугілля; тобто будь-який клас або сорт вугілля можна обробити з одержанням нового, іншого сорту вугілля з будь-якими широкими варіантами властивостей, що може вибирати замовник. Інакше кажучи, ці методології можна застосовувати для одержання нових сортів вугілля з широким різноманіттям поліпшених паливних властивостей, відсутніх у сирового, необробленого вугілля.

С. Варіант здійснення способу

На Фіг.3 показано принципову схему способу 100, взятого за приклад. Спосіб 100 ілюструє етапи поводження з вугіллям та його обробки з метою поліпшення паливних характеристик палива, наприклад, вугілля або іншого вуглецевмісного палива. Спосіб 100 може бути реалізований або застосований іншим чином із використанням будь-яких різноманітних систем та устаткування. Нижче описано реалізацію способу 100 за використанням системи 200, схематично зображеної на Фіг.4 як приклад; при поясненні способу за Фіг.3 даються посилання на різні елементи системи 200. Цей винахід може мати на увазі також інші системи та процеси і може бути реалізований з використанням таких інших систем та процесів. Нижче подано детальні посилання на варіанти здійснення винаходу, взятого за приклад та ілюстрованого на рисунках, що додаються. Для ідентифікації однакових або аналогічних елементів на всіх рисунках застосовано однакові числові позначення.

Кожний блок принципової схеми, показаної на Фіг.3, представляє один або кілька етапів, що виконуються в рамках взятого за приклад способу 100. Спосіб 100 починається з блока 102, де приймається сирове паливо для обробки. Наприклад, сирове вугілля може прийматися для обробки способом 100 у секції 202 сирового палива, показаний на Фіг.4 та описаний нижче.

В деяких випадках сирове паливо подрібнюють. Сирове паливо подрібнюють до заданого розміру за допомогою дробильного пристрою. Наприклад, сирове вугілля можна подрібнювати у секції 202 сирового палива, показаний на Фіг.4 та описаний нижче.

Наступним за блоком 102 є блок 104, де визначається характерний склад палива. Паливо аналізують для визначення характеристик складу, наприклад, вмісту вологи у паливі. Наприклад, у секції 204 технологічного конвеєра та/або в системі 206 зворотного зв'язку (показаних на Фіг.4) для визначення вологості палива можна застосовувати аналізатор вологості.

Після блока 104 наступним є блок 106, де визначаються характеристики вугілля, бажані для споживача. Ці бажані властивості палива та склад сирового вугілля застосовуються для встановлення "проектних" параметрів обраної системи обробки. Потужність використовуваної енергії та тривалість її генерації можна визначити на основі бажаної паливної характеристики, наприклад, вологості, а також виходячи з відносної швидкості або швидкості переміщення палива відносно генератора 208 електромагнітного випромінювання (показаного на Фіг.4). "Тривалість генерації" використовуваної енергії може реалізуватися у формі циклу навантаження, при цьому живлення генератора циклічно вмикається та вимикається із забезпеченням зниженого середнього рівня потужності. У поданому вище прикладі для визначення кількості хвильової енергії та інших параметрів процесу, необхідних для одержання "проектного" вугілля, застосовуються вологість сирового вугілля та бажані властивості палива. Використовуючи аналізатор вологості, система 206 зворотного зв'язку може здійснювати моніторинг палива та селективно регулювати потужність та тривалість генерації електромагнітної енергії з метою одержання бажаного рівня вологості.

У варіанті реалізації системи, описаному нижче, можна використовувати ряд генераторів електромагнітного випромінювання (аналогічних 208) для забезпечення дії обраної кількості електромагнітної енергії на шар вугілля на конвеєрній стрічці або на технологічному конвеєрі 204, що проходить поблизу генераторів електромагнітного випромінювання, з розрахунком на проникнення у шар вугілля енергії, достатньої для видалення конкретної кількості вологи, золи та сірки з цього шару вугілля.

Наступним після блока 106 є блок 108, де вугілля обробляють певною електромагнітною частотою, кількістю хвильової енергії та інертними газами. Як описано нижче стосовно до варіанта реалізації системи, для забезпечення дії конкретної кількості електромагнітної енергії на паливо можна використовувати ряд генераторів електромагнітного випромінювання.

За блоком 108 ідуть блоки 110, 112 та 114, де з палива видаляються або іншим способом уловлюються побічні продукти. В результаті дії на паливо електромагнітної енергії, яка генерується генератором 208 електромагнітного випромінювання, з палива можуть утворюватися один або кілька побічних продуктів, наприклад, надлишкова волога, зола або сірка. Ці побічні продукти уловлюються в одному з блоків 110, 112, 114, як описано нижче. Наприклад, у блоці 110 з палива видаляється або іншим способом уловлюється певна кількість вологи. У блоці 112 з палива видаляється або іншим способом уловлюється певна кількість сірки.

У блоці 114 з палива видаляються або іншим способом уловлюються інші побічні продукти. Безпосереднім результатом впливу електромагнітної енергії на паливо є поліпшення характеристик згоряння палива. Поліпшене паливо збирають або іншим способом приймають у секції 116 поліпшеного палива.

D. Параметри обробки палива

Розміри та форма грудок, твердість, леткість, вміст вуглецю, слідових мінералів, характеристики згоряння та інші властивості вугілля варіюють у широких межах. Тому вибрані параметри процесу також будуть варіювати у широких межах залежно від таких чинників: кількість вугілля, що підлягає обробці; наявні час та виробнича площа для обробки; режим обробки (періодичний, безперервний або комбінований); цілі обробки; та призначення обробленого вугілля. Інакше кажучи, узагальнення параметрів процесу є досить складним завданням, проте діапазони значень, придатні для застосування в процесі, можна визначити, і відповідні рекомендації подано нижче.

1) Електромагнітна хвильова енергія

Частоти електромагнітних генераторів, які можна застосовувати у процесі, лежать у межах від нижче 100МГц до понад 20000МГц. Можна застосовувати одну частоту або кілька частот, одночасно, поперемінно або постадійно. Частота або частоти можуть бути застосовані безперервно або імпульсно, або з циклуванням навантаження (тобто з циклічним вмиканням або вимиканням, аналогічно режиму кухонних мікрохвильових печей).

2) Потужність

Потужність електромагнітних генераторів може становити від 100Вт до 100000Вт і більше, до кількох мегаватт.

3) Тривалість обробки

Придатний час дії електромагнітного випромінювання може становити від 5с до 45хв, залежно від мети процесу.

4) Продуктивність

Якщо система розрахована на роботу в періодичному режимі, то її продуктивність може становити від кількох унцій (1унція=28г) до кількох тонн. У системах обробки безперервного типу можна обробляти від кількох десятків фунтів (1фунт=0,453кг) до сотень тонн на годину. Як атмосферу камери можна застосовувати сухий кисень для забезпечення більшої однорідності розподілу хвильової енергії та результатів процесу. Атмосфера інертного газу запобігає утворенню оксидів, наприклад, SO₂, CO₂ та NO_x, під час оброблення та знижує або усуває ризик спалахування та/або горіння.

5) Температура вугілля та повітря

Температура вугілля на його поверхні та в глибині шару під час обробки може лежати в межах від температури навколишнього середовища до приблизно 250°C.

Взаємно пов'язаними параметрами процесу є температура поверхні вугілля під час обробки та температура повітря всередині камери обробки. Процес обробки електромагнітним випромінюванням у лабораторних випробувальних установках краще оцінюється та є більш зрозумілим, якщо виконуються періодичні вимірювання температури пове-

рхні вугілля; ці вимірювання легко здійснюються за допомогою ручних інфрачервоних датчиків або температурних зондів, встановлених всередині камери. При великомасштабній обробці вугілля безперервним способом таке вимірювання та безперервний контроль температури мають ще більше значення. Порогові значення температури визначаються заздалегідь окремо для кожної групи вугілля, що підлягає обробці, і залежать від цілей обробки (наприклад, зниження тільки вологості або комбінованого зниження вмісту кількох домішок). Вугілля високої вологості поглинає електромагнітне випромінювання легше, ніж вугілля низької вологості, і, отже, будь-яка задана температура в першому випадку досягається швидше. Досягнення або перевищення температурного порогу спалахування може призвести до зниження теплотворної здатності вугілля, навіть якщо горіння усувається шляхом застосування інертного газу. Тому системи обробки обладнуються зв'язаними системами вимірювання температури та зворотного зв'язку для забезпечення негайного модифікування параметрів процесу, наприклад, потужності мікрохвильової енергії, часу перебування або витрати повітря, в разі досягнення згаданих порогових значень температури. Такі пороги температури можна заздалегідь визначити в лабораторії для кожної сукупності властивостей партії вугілля; альтернативою є визначення порогової температури на основі виробничого досвіду.

Інший тип порогових температур пов'язаний зі змінами в матеріалах, при цьому особливий інтерес стосується сірки. Переважна форма сірки, присутня у її парі, плавиться при 119°C з утворенням жовтої прозорої рідини, яка залишається такою при температурах до 160°C , коли сірка зазнає молекулярного перетворення, причому її атоми утворюють темну в'язку рідину. Інакше кажучи, температури нижче 119°C та вище 160°C спричиняють дуже різні фізичні та хімічні властивості вільної сірки або сірки, зв'язаної у вугіллі, і мають братися до уваги в разі необхідності зниження вмісту сірки будь-яким прогнозованим способом. При випробуваннях процесу спостерігалася сірка в кожній з вищезазначених різних форм. Як інший приклад можна згадати, що одна з партій вугілля серед численних проб вивільнювала густі клуби жовтого диму вже через кілька секунд після початку обробки, навіть до вивільнення вологи. Жодна з інших проб вугілля не давала такої реакції. Аналогічні міркування, пов'язані з попередніми випробуваннями, стосуються золи, яка, як правило, при такій методології обробки видаляється перед сіркою. Максимальну граничну температуру можна оцінити як приблизно 200°C з міркувань зручності, а також у зв'язку з тим, що вищі температури можуть спричинити інші небажані зміни вугілля або надто швидко змінити властивостей вугілля, яка не піддається регулюванню.

Нарешті, виявлення температури в камері, що перевищує очікувану, може бути індикатором горіння та, можливо, вказувати на порушення з точки зору безпеки, а також із технологічної точки зору (тобто є додатковим міркуванням на користь застосування систем контролю температури та зворотного зв'язку як невід'ємних частин систем об-

робки в цілому). Для гарантування достатнього задоволення вимог безпеки та технології можна також застосовувати системи візуального моніторингу та дистанційного візуального спостереження.

6) Потік повітря

Потік повітря є важливим та багатоцільовим параметром процесу. Для цієї мети особливо придатним є сухе повітря, відфільтроване від пилових забруднень. Кількість повітря в потоці залежить від конфігурації та розмірів камери обробки і від конструктивного оформлення введення та виведення вугілля. Регульований потік повітря сприяє перемішуванню повітря в камері обробки, забезпечуючи більш рівномірний розподіл тепла в камері. Повітря є носієм побічних продуктів процесу, наприклад, вологи, пилових частинок та будь-яких газів, які утворюються при обробці. Достатня витрата повітря виключає можливість утворення електричної дуги або іскріння в процесі обробки у випадках, коли оброблювана партія вугілля (тобто навантаження) є досить великою для даних розмірів і форми камери та застосовуваної потужності.

У відсутності потоку повітря волога конденсується на стінках камери, що спричиняє кілька негативних ефектів. Вологі поверхні поглинають деякі частку електромагнітного випромінювання і тим самим знижують загальну ефективність системи, вимагаючи подовженої обробки. Крім того, вода стікає на вугілля, що призводить до нерівномірного нагрівання та нерівномірного проникнення електромагнітного випромінювання через вугілля, тим самим утруднюючи досягнення результатів, узгоджених або типових для усієї партії оброблюваного вугілля. Як наслідок, деяка кількість вугілля, розташована в нижній частині оброблюваної партії, не пронизується повністю мікрохвильовим випромінюванням і не розтріскується до того самого ступеня, що вугілля, розташоване поблизу верхнього шару партії, і, отже, з нього не вивільнюються такі самі кількості компонентів. Нарешті, вищезгадане нерівномірне нагрівання спричиняє утворення так званих локальних перегрівів, які є попередниками спалахування, загоряння та горіння; усіх цих явищ слід уникати в процесі обробки.

При наявності повітряного потоку та без використання системи збирання та зберігання побічних продуктів на виході процесу можна спостерігати вихід пари. Якщо обробка є короткочасною, то можна спостерігати вихід з камери тільки безбарвної водяної пари. При продовженні обробки та/або застосуванні інших параметрів процесу для видалення інших компонентів колір пари змінюється, при цьому вона спочатку набуває жовтуватого відтінку та запаху, характерного для присутності сірки та її сполук. Подальша обробка призводить до утворення газів більш темного кольору та рідин, які містять інші форми сірки та золи, що вивільнюються. Наприклад, сірка може вивільнюватися при температурі в межах від 130°C до 240°C . В разі більш тривалої обробки можуть вивільнюватися, в кінцевому підсумку, вуглеводні та смоли. Вивільнення двох останніх компонентів є небажаним, оскільки вони свідчать про втрату тепловмісту вугілля.

7) Інертний газ

Застосування інертного газу в камері є факультативним. В разі застосування інертного газу його кількість залежить від цілей обробки.

Інертний газ (перевага віддається сухому азоту або аргону) призначений для кількох цілей. Будь-який з кількох чинників може спричинити перегрів частини вугілля партії або проби, або частини грудки вугілля до рівня, при якому можливе загоряння та горіння. Застосування азотної або аргонної атмосфери в камері запобігає горінню вугілля під час обробки. Азот легко придбати на ринку у сухій газоподібній формі, зберігати та дозувати для лабораторного застосування, і об'ємна швидкість у 20-25 кубічних футів на годину (0,54-0,67 м³/год) забезпечує потік, достатній для виносу рідких та газоподібних побічних продуктів при обробці вугілля у невеликих (масштабу кухонних) мікрохвильових камерах при одночасному запобіганні горінню. Для камер більшого об'єму необхідні відповідно збільшені об'єми потоку азоту. Наявні на ринку системи зі змінним тиском широко застосовуються в інших галузях; ці системи забезпечують одержання азоту безпосередньо з повітря в разі необхідності його значних кількостей, наприклад, для обробки вугілля на місці видобутку або на тепловій електростанції та іншому комунальному підприємстві, що працює на вугіллі. Азот є прекрасним інертним газом внаслідок його доступності та низької вартості у порівнянні з аргонном, але тільки у випадках, коли забезпечено припинення обробки вугілля до досягнення небажаного вивільнення вуглеводнів і, зокрема, смол, при якому з хімічних сполук, які вивільнюються при перевищенні порогових температур або при надто довгій обробці, можуть утворюватися небезпечні сполуки. Застосування атмосфери інертного газу в камері запобігає також утворенню в процесі обробки оксидів, наприклад, SO₂, CO₂ та NO_x.

8) Водень

Застосування водню (що постачається, наприклад, за допомогою генератора водню) в камері є факультативним. Водень можна вводити в камеру для додаткового керування змінами, що мають місце у вугіллі під час обробки.

9) Тиск атмосфери у камері обробки

У типових випадках тиск у камері обробки становить 1 атм, проте параметри процесу можна змінювати в разі потреби, якщо обробку виконують у місці, що знаходиться вище рівня моря. У деяких випадках можна застосовувати також вакуум.

10) Поточні вимірювальні системи

Можуть бути застосовані поточні вимірювальні системи для вимірювання вологості, зольності, вмісту сірки, слідових мінералів та температур у камері. Усі ці системи розробляються з розрахунком на забезпечення зворотного зв'язку з метою коригування в разі потреби параметрів процесу для досягнення цільових рівнів параметрів та запобігання їх перевищенню і, отже, для виключення недостатньої або надмірної обробки вугілля.

III. Устаткування - Варіант А

А. Секція сирового палива

Система 200, показана на Фіг.4, включає секцію 202 сирового палива. Секція 202 сирового палива може являти собою бункер-сховище для зби-

рання сирового палива або для нагромадження іншим способом сирового палива, призначеного для обробки в системі. У типових випадках сирове паливо надходить із віддаленого місця, наприклад, із підприємства вуглевидобутку, і зберігається у секції 202 сирового палива до подання на подальшу обробку. Сирове паливо, наприклад, лігніт, антрацит, бугумінозне, суббітумінозне, низькосірчисте, високосірчисте вугілля та вугільні суміші, можна зберігати у секції сирового палива до виникнення потреби в ньому. Відібрані кількості сирового палива подрібнюються у секції 202 сирового палива для обробки в інших частинах системи 200. Секція 202 сирового палива може включати в себе також послідовність одного або кількох пристроїв для подрібнення вугілля, які забезпечують подрібнення великих грудок вугілля на менші грудки. Секція 202 сирового палива може включати, наприклад, таке устаткування, як розпилювач, вуглеподрібнювач, кульовий млин або дробарку, але не тільки перелічені пристрої. Наприклад, вуглеподрібнювач можна використовувати для подрібнення сирового вугілля на грудки діаметром приблизно 4 дюйми (10 см). Відповідно до різних варіантів здійснення винаходу, можна використовувати більші або менші грудки вугілля чи іншого палива.

В. Додаткові взаємодіючі системи

За секцією 202 сирового палива розташована секція 204 технологічного конвеєра. Секція технологічного конвеєра взаємодіє із секцією 202 сирового палива, приймаючи заздалегідь визначену кількість палива, що підлягає обробці.

Секція 204 технологічного конвеєра з'єднана також із секцією системи 206 зворотного зв'язку, секцією 208 генератора електромагнітного випромінювання, секцією 210 обробки повітря та секцією 212 обробленого палива.

С. Система зворотного зв'язку

Система 206 зворотного зв'язку працює у взаємодії з технологічним конвеєром і визначає характеристики палива, наприклад, вологість або зольність палива. Секція системи 206 зворотного зв'язку включає датчик вологості 214, датчик температури 216, аналізатор зольності 218 та електрохімічний аналізатор 220. Наприклад, застосовуючи деякі зі згаданих елементів або всі елементи, можна визначити приблизну кількість мікрохвильової енергії та тривалість її дії, необхідні для видалення конкретної питомої кількості вологості з палива. До інших характеристик складу, які можна визначити, є питомі кількості золи, сірки, водню, вуглецю, азоту та інших компонентів або елементів у паливі.

Слід зазначити, що для визначення однієї або кількох характеристик згоряння палива є придатними інші пристрої або способи. Такі пристрої та способи можна застосовувати в поточному або автономному режимі. Необмежувальні приклади таких пристроїв та способів включають аналізатори вологості, аналізатори зольності, датчики температури та електрохімічні аналізатори.

Секція 206 системи зворотного зв'язку та секція 204 технологічного конвеєра взаємодіють також із секцією 222 керування процесом. Секція 222 керування процесом взаємодіє із секцією 208 генератора електромагнітного випромінювання для

забезпечення керування зі зворотним зв'язком або передачі інших команд від секції 206 системи зворотного зв'язку з метою керування секцією 208 генератора електромагнітного випромінювання.

D. Генератор електромагнітного випромінювання

Секція 208 генератора електромагнітного випромінювання забезпечує подавання мікрохвильової енергії до палива, яке знаходиться у секції 204 технологічного конвеєра. Генератор 208 електромагнітного випромінювання включає сукупність магнетронів, встановлених у певних положеннях відносно палива у секції 204 технологічного конвеєра; ці магнетрони спрямовують енергію електромагнітного випромінювання на паливо відповідно до заздалегідь заданих характеристик, наприклад, до очікуваного вмісту вологи.

Наприклад, кожним із магнетронів секції 208 генератора електромагнітного випромінювання можна керувати з метою регулювання потужності, тривалості та інших робочих параметрів для забезпечення проникнення у паливо достатньої кількості або якості хвильової енергії та видалення цільової кількості вологи. Згідно з цим винаходом, генератори електромагнітного випромінювання забезпечують подавання до палива конкретної, наперед визначеної кількості хвильової енергії. Застосовуючи інформацію, зібрану секцією системи 206 зворотного зв'язку, наприклад, результати вимірювання вологості, секція 222 керування процесом здатна селективно регулювати кожний з генераторів для подавання конкретної кількості енергії до шару вугілля у секції 204 технологічного конвеєра до видалення конкретної кількості вологи з вугілля.

Слід зазначити, що як джерела хвильової енергії для подавання заздалегідь визначеної кількості енергії до палива можна застосувати інші пристрої та способи. Необмежувальними прикладами таких пристроїв та способів є магнетрони, клістроли та гіротрони.

Слід мати на увазі, що електромагнітна енергія нижчих частот проникає у паливні матеріали, наприклад, у вугілля, глибше, ніж енергія вищих частот. Генератор електромагнітного випромінювання, придатний для використання в системі 200, генерує вихідний сигнал із частотою від 100 МГц до 20 ГГц. Згідно з іншими варіантами здійснення винаходу, можна застосовувати хвильову енергію інших частот.

Потужність хвильової енергії може бути імпульсною або безперервною. У поданому вище прикладі генератори можуть генерувати хвильову енергію у безперервному режимі. Для регулювання хвильової енергії, що подається до палива, вихідна хвильова енергія може генеруватися у формі імпульсів постійної частоти через певні проміжки часу. Потужність кожного джерела енергії становить щонайменше 15 кВт при частоті 928 МГц або нижче, а в інших варіантах - щонайменше 75 кВт при частоті 902 МГц або вище.

Крім того, кожним генератором можна керувати на основі "пропускної здатності" системи по конкретному паливу, що транспортується через камеру, в межах вихідної потужності хвильової енергії сукупності генераторів. Пропускна здатність можна визначити як швидкість проходження конкретної кількості палива через камеру хвильової

обробки за конкретний період часу. Наприклад, пропускна здатність по паливу, наприклад, по вугіллю, може становити 200-400 фунтів (90-180 кг) за хвилину.

Слід зазначити, що кожний тип палива може оброблятися із застосуванням різних кількостей та якісних характеристик електромагнітної енергії, залежно від типу палива, його стану та інших характеристик середовища, що оточує паливо, та самого палива.

E. Система обробки повітря

Секція системи 210 обробки повітря забезпечує збирання побічних продуктів, які утворюються у секції 204 технологічного конвеєра. Система 210 обробки повітря включає секцію 224 уловлювання та зберігання вологи, секцію 226 уловлювання та зберігання газів та секцію 228 уловлювання та зберігання побічних продуктів. Секція системи 210 обробки повітря уловлює та зберігає побічні продукти з обробленого палива. Наприклад, при обробленні сирового палива електромагнітною енергією в секції 204 технологічного конвеєра утворюється водяна пара та конденсована вода. В секції 224 уловлювання та зберігання вологи конденсована вода збирається та зберігається для подальшого використання. Водяну пару та газ можна збирати у секції 226 уловлювання та зберігання газів для подальшого використання. Інші побічні продукти із секції 204 технологічного конвеєра збираються у секції 228 уловлювання та зберігання побічних продуктів для подальшого використання.

F. Секція обробленого палива

Залишок обробленого палива із секції 204 технологічного конвеєра передають або іншим чином збирають у секції 212 обробленого палива. Необмежувальними прикладами таких пристроїв є бункер, залізничний вагон, штабель для зберігання або конвеєр для транспортування палива без посередньо до процесу спалювання (не показано на рисунках).

Паливо із секції 212 обробленого палива можна потім використовувати у процесі спалювання, наприклад, у комбінації топки з паровим котлом. Оброблене паливо за цим винаходом можна використовувати також в інших відомих процесах спалювання.

G. Система живильника та конвеєра

На Фіг.5 зображено в перспективному вигляді існуючу конвеєрну систему 300, яку можна модифікувати згідно з цим винаходом. Показана конвеєрна система 300 являє собою конвеєр Slipstick™, розроблений та споруджений фірмою Triple/S Dynamics, Inc. Показану конвеєрну систему 300 можна застосувати в секції 204 технологічного конвеєра, показану на Фіг.4, або іншим чином включити в цю секцію. Із застосуванням конвеєрної системи, показаної на Фіг.5, можна спорудити різноманітне устаткування за цим винаходом. У варіантах здійснення винаходу можна також застосувати інші конвеєрні системи.

На Фіг.5-10 показано приклад устаткування 400 за цим винаходом. Устаткування 400 можна інтегрувати в будь-яку з різноманітних систем та реалізації різноманітних способів згідно з варіантами здійснення винаходу. Наприклад, устатку-

вання 400 можна вмонтувати в систему 200, описану вище, або іншим способом застосувати спільно з цією системою. При описі устаткування 400, взятого за приклад на Фіг.5-12, подано посилання на різні елементи системи 200. Крім того, як приклад, описаний вище спосіб 200 можна реалізувати із застосуванням устаткування 400, показаного на Фіг.5-12. Устаткування 400, показане на Фіг.5-12, включає вузол живильника 402, привідний вузол 404, вузол конвеєра 406 та вузол реактора 408. Вузол живильника 402 пристосований для приймання палива, наприклад, попередньо подрібненого вугілля, а також для передавання цього палива до вузла реактора 408. Привідний вузол 404 пристосований для транспортування палива через вузол реактора 408. Вузол реактора 408 пристосований для подавання до палива певної кількості електромагнітної енергії. Різні вузли 402, 404, 406, 408 та функціонування устаткування 400 більш детально описано нижче.

На Фіг.6 показано вузол живильника 402 для устаткування 400. Вузол живильника 402 змонтовано безпосередньо над вхідним кінцем камери конвеєра перед імпульсним привідним механізмом. Вузол живильника 402 включає вхідну секцію 418, проміжну секцію 420 та перехідну секцію 422. Вузол живильника 402 та його відповідні секції 418, 420 та 422 у типових випадках виготовлені з листового алюмінію товщиною приблизно 0,13 дюйма (3,2 мм). Залежно від продуктивності системи 200 можуть бути розроблені альтернативні варіанти вузла живильника за цим винаходом. Розміри вхідної секції 418 забезпечують приймання палива із секції 202 сирового палива (дивись Фіг.4). В ілюстрованому прикладі вхідна секція 418 виконана у формі лійки квадратного перерізу, що звужується в напрямі від кінця, суміжного з дозатором палива, до кінця, суміжного з проміжною секцією. Мається на увазі, що вхідна секція 418 може мати інші конфігурації, форми та розміри залежно від секції 202 сирового палива, продуктивності системи 200 та/або форми проміжної секції 420.

Розміри проміжної секції 420 забезпечують приймання палива з вхідної секції 418, описаної вище. В ілюстрованому прикладі проміжна секція 420 являє собою канал постійного квадратного перерізу, розташований між кінцем вхідної секції та кінцем перехідної секції. Між кінцем вхідної секції та кінцем перехідної секції може бути змонтована система шиберних затворів 416 для регулювання надходження палива із секції 202 сирового палива. Мається на увазі, що проміжна секція 420 може мати інші конфігурації, форми та розміри залежно від продуктивності системи 200, форми вхідної секції 418 та/або форми перехідної секції 422. У складі вузла живильника 402 можуть бути використані інші типи затворів або клапанів.

Розміри перехідної секції 422 забезпечують приймання палива з проміжної секції 420, описаної вище. В ілюстрованому прикладі перехідна секція 422 являє собою деталь опуклої форми, пристосовану до відповідного отвору привідного вузла 404. Мається на увазі, що перехідна секція 422 може мати інші конфігурації, форми та розміри залежно

від продуктивності системи 200, форми проміжної секції 420 та вузла живильника 404.

За деякими варіантами, між різними елементами 418, 420, 422 вузла живильника 402 можуть бути вмонтовані компенсатори розширення (не показані на рисунках) для компенсації теплового розширення вузла живильника 402 або елементів системи, які прилягають до вузла живильника 402.

Вузол конвеєра 406 включає транспортер 424. Транспортер 424 пристосований для приймання палива з вузла живильника 402, а також для переміщення палива вздовж частини довжини транспортера 424 в напрямі зони виходу 426, розташованої на протилежному боці транспортера 424. Показаний на рисунках транспортер 424 має форму горизонтального жолоба з відкритими кінцями. Транспортер 424 може мати інші конфігурації, форми та розміри залежно від продуктивності системи 200.

На Фіг.7-12 показано вигляд ковпака транспортера для устаткування, показаного на Фіг.5. Як видно на Фіг.7-12, реакторний вузол 408 включає ковпак 500 транспортера та сукупність магнетронів (позначену на Фіг.4 як секція 208 генератора електромагнітного випромінювання). Ковпак 500 транспортера пристосований для перекриття відкритої сторони транспортера 424. Вздовж ковпака 500 транспортера встановлено сукупність магнетронів, розташованих із розрахунком на випромінювання електромагнітної енергії у бік палива, що знаходиться на транспортері 424. Як описано вище, секція 206 системи зворотного зв'язку, секція 222 керування процесом та генератор електромагнітного випромінювання 208 взаємодіють із секцією 204 технологічного конвеєра з метою керування, контролю процесу та регулювання кількості електромагнітної енергії, що генерується сукупністю магнетронів, розташованих вздовж ковпака 500 транспортера та транспортера 424. У складі системи 200 або аналогічних систем можна застосовувати інші конфігурації реакторного вузла 408 за цим винаходом.

При роботі вузол 406 конвеєра передає періодичне рушійне зусилля на транспортер 424, і тверде паливо, наприклад, вугілля, подається з вузла живильника 402 на ближній кінець транспортера 424. При кожному прикладанні рушійного зусилля до транспортера 424 це зусилля спричиняє переміщення палива в напрямі до вихідного кінця 424 (до зони виходу 426). Під час переміщення палива вздовж транспортера 424 магнетрони збуджуються для передачі певної кількості електромагнітної енергії паливу, що знаходиться на транспортері 424. Кількість електромагнітної енергії визначається секцією системи 206 зворотного зв'язку та/або секцією 222 керування процесом частково на основі кількості палива на транспортері та швидкості руху палива вздовж транспортера 424.

Н. Устаткування для періодичного процесу

На Фіг.13-15 показано апарат 1000 для обробки вугілля або інших твердих палив у періодичному режимі. Цей апарат 1000 можна застосовувати у комбінації з устаткуванням, показаним на Фіг.5-12, або окремо від нього. В апараті 1000 може бути також реалізована методологія процесу, пред-

ставлена на Фіг.3, зокрема, у формі блока 108. У показаному прикладі для подавання певної кількості електромагнітної енергії до палива, наприклад, вугілля, вміщеного в апарат, застосовуються магнетрони 1002. Хвильова енергія спрямовується до хвилевідного (WG) входу в апарат за допомогою хвилеводів. Апарат 1000 обладнаний портами 1004 моніторингу електромагнітного випромінювання та торцевими дверцятами 1006 для завантаження вугілля в камеру. Можливі інші конфігурації устаткування для періодичного режиму обробки за цим винаходом.

IV. Устаткування - Варіант В

Варіант експериментальної установки показано на Фіг.16. Установка включає в себе живильник 1102 ківшевого елеватора, з'єднаний з ківшевим елеватором 1104 для транспортування сирового вугілля у проміжний бункер 1106. Під проміжним бункером 1106 змонтовані човникова заслінка 1110, бункер 1112 та дозатор 1114 бункера. Вугілля, що надходить самопливом із проміжного бункера 1106 через затвор 1114, вивантажується у шнековий транспортер 1116, який переміщує вугілля через камеру 1118 мікрохвильової обробки. Після виходу з камери 1118 мікрохвильової обробки вугілля проходить через приймальний бункер 1120 та затвор 1122 у сховища 1124.

Камера 1118 обробки обладнана також вихідними трубопроводами 1126, які з'єднані з колекторною лінією 1128. Колекторна лінія 1128 з'єднана із сірковловлювачем 1130. Іншою лінією 1132 потік із сірковловлювача 1130 надходить у конденсатор 1134, потім у водозбірник 1136 і, нарешті, у витяжний вентилятор 1138 та систему вловлювання викидів.

Нижче коротко описано порядок експлуатації цієї установки.

Спочатку запускають витяжний вентилятор 1138 для боротьби з пилом, який може вивільнюватися внаслідок операцій завантаження. Витяжний вентилятор 1138 просмоктує повітря з ківшевого елеватора 1104 через систему і виводить одержане очищене повітря.

Вугілля надходить у барабани, і його вивантажують за допомогою навантажувача з напрямними рейками або вилкового автонавантажувача, обладнаного пристроєм для перевертання барабанів, у живильний бункер 1102 ківшевого елеватора. Ківшевий елеватор 1104 порціями транспортує вугілля у проміжний бункер 1106 для формування партії, що підлягає обробці. Залежно від розміру випробувальної партії, у систему можна завантажувати кілька барабанів місткістю 55 галонів (240л).

Після завантажування партії вугілля у проміжний бункер 1106 починають продування системи азотом і закривають проміжний бункер 1106 для ізоляції технологічної системи від оточуючого середовища. Витяжний вентилятор 1138 продовжує працювати на протязі всього процесу, в тому числі під час охолодження технологічної системи.

Кількість вугілля, що надходить у проміжний бункер 1106, контролюють за сигналами від датчиків навантаження 1108, які видають також інформацію про інтенсивність живлення. Для регулювання витрати матеріалу з проміжного бункера

1106 у систему транспортування сирового матеріалу застосовують човникову заслінку 1110. Для забезпечення постійної масової витрати матеріалу цю заслінку 1110 пересувають зворотно-поступово для пропускання невеликих кількостей вугілля у ротаційний дозатор бункера 1114. Гідроциліндри човникової заслінки 1110 забезпечують достатню потужність для пересування заслінки через вугілля та руйнування великих грудок в разі потреби.

Оскільки розміри човникової заслінки 1110 та дозатора 1114 розраховані на уникнення переповнення бункера 1112, цей бункер 1112 може безперервно обертатися, тим самим забезпечуючи постійне подавання вугілля на шнековий транспортер 1116. Шнековий транспортер 1116 забезпечує рівномірність подавання вугілля у камеру 1118 мікрохвильової обробки.

Системи керування процесом та зворотного зв'язку розраховані так, що вони забезпечують сприймання вугіллям потрібної середньої дози випромінювання за час перебування його у камері обробки. Швидкості руху вугілля у кожному з подавальних вузлів (човникова заслінка 1110, дозатор 1114 та шнековий транспортер 1116) регулюються кожна окремо для забезпечення постійної швидкості подавання вугілля у систему транспортування матеріалу у камеру 1118 мікрохвильової обробки.

Перед надходженням у вихідну зону камери 1118 оброблене вугілля проходить через зону (не показано), де його витримують до припинення залишкового випромінювання та охолодження з метою сприяння боротьбі з неприємними запахами та для вловлювання інших викидів з обробленого вугілля. Після охолодження продукту продування азотом припиняють, проте витяжний вентилятор 1138 продовжує працювати з метою вловлювання пилу, що утворюється при перевантаженні обробленого вугілля у барабани. Гідравлічна заслінка 1122 використовується для завантаження обробленого вугілля у барабани 1124. Після обробки, охолодження та вивантаження у барабани 1124 усієї партії обробленого вугілля витяжний вентилятор 1138 зупиняють.

Під час операції обробки з камери мікрохвильової обробки 1118 відводять усі леткі матеріали (воду, сірку, вуглеводні, ртуть та інші леткі речовини). Вода та інші рідини, що стікають з "арочних" стінок камери, уловлюються у сірковловлювачі 1130. Леткі матеріали (вода та вуглеводні) потім відводяться із сірковловлювача 1130, проходять через конденсатор 1134 і надходять у водозбірник 1136. Перед видаленням матеріалу перевіряють вміст ртуті в ньому.

Залишкові леткі матеріали подають у фільтр для видалення пилу та пропускають через шар вугілля для видалення органічних сполук, ртуті та пахучих речовин, після чого азот скидають в атмосферу. Фільтр та шар вугілля вміщені у вузлі 1138 витяжного вентилятора та пристроїв боротьби з викидами. Вугільні шари можна піддавати регенерації або ж видаляти як небезпечні відходи.

V. Властивості обробленого вугілля

Неоднорідність властивостей сирового вугілля компенсується постійним моніторингом та відповідними параметрами зворотного зв'язку, притаманними технологічним системам, описаним у цьому

документі, для забезпечення одержання твердого палива з однорідними властивостями. Для деяких котлів на твердому паливі максимальні температури обмежені. В таких випадках цілями обробки є зниження вологості та зольності, які регулюються з метою досягнення оптимальної теплотворності без перевищення її максимального значення та відповідних максимальних температур для відповідних котлів.

Із застосуванням описаних способів та устаткування можна одержувати нову групу сортів вугілля, які відсутні у природі та відповідають заданим характеристикам. Ці оброблені сорти вугілля можна характеризувати одним або кількома поданими нижче показниками:

- зниженням вологості будь-якого сорту вугілля до будь-якого бажаного рівня до 1% або нижче;
- підвищенням теплотворності будь-якого сорту вугілля до будь-якого рівня, включно щонайменше до рівня, який мало б вугілля у відсутності води (зольність та загальний вміст сірки також знижуються, що забезпечує додаткове підвищення теплотворності);
- зниженням зольності будь-якого сорту вугілля, причому це зниження становить від приблизно 10% до більше ніж 65% (дивись приклади, подані нижче в Таблиці 1 і Таблиці 2); і
- зниженням вмісту будь-яких форм сірки, причому загальний вміст сірки знижується на 50-75%, а для деяких сортів вугілля ще більше.

Термін "нове паливо" означає будь-який з цих оброблених сортів вугілля, що мають властивість або властивості, що лежать у межах будь-якого з поданих нижче діапазонів семи властивостей для кожного типу вугілля, вказаних нижче.

Бітумінозне вугілля:

Вугілля за стандартом США:

Показник	Значення (типове - найкраще)
Теплотворність БТО/фунт (ккал/кг)	12537-14301 (6970-7951)
Вологість, %	3,39-0,44
Зольність, %	10,94-2,65
Загальна сірка, %	3,73-1,21
Пірити, %	1,88-0,32
Сульфати, %	0,14-0,01
Органічна сірка, %	1,73-0,62

Вугілля за міжнародним стандартом (порівняти Таблицю 1 та Таблицю 2 нижче):

Показник	Значення (типове - найкраще)
Теплотворність БТО/фунт (ккал/кг)	12737-14537 (7082-8082)
Вологість, %	2,00-0,83
Зольність, %	10,29-2,24
Загальна сірка, %	3,94-1,84
Пірити, %	0,88-0,11
Сульфати, %	0,13-0,01
Органічна сірка, %	2,94-1,65

Лігніти:

Лігніти за стандартом США:

Показник	Значення (типове - найкраще)
Теплотворність БТО/фунт (ккал/кг)	7266-11550 (4040-6422)
Вологість, %	38,27-3,73
Зольність, %	7,29-5,22

Загальна сірка, %	2,18-1,13
Пірити, %	0,68-0,01
Сульфати, %	0,02-0,01
Органічна сірка, %	1,48-1,12

Лігніти за міжнародним стандартом:

Показник	Значення (типове - найкраще)
Теплотворність БТО/фунт (ккал/кг)	8195-11729 (4556-6521)
Вологість, %	25,58-5,67
Зольність, %	10,68-6,76
Загальна сірка, %	5,86-1,78
Пірити, %	2,60-0,23
Сульфати, %	0,45-0,07
Органічна сірка, %	2,81-1,31

Аналогічні твердження можна зробити для інших сортів вугілля та класів вугілля, оброблених із застосуванням способів та устаткування, описаних у цьому документі, і додаткові результати випробувань процесу уможливають ідентифікацію та створення таких нових палив із будь-якого сорту та класу вугілля. Кінцевим наслідком буде матриця усіх сортів та класів вугілля та всіх "нових палив", які можна одержати шляхом обробки за цим винаходом.

VI. Експериментальні результати

Зразки вугілля з охарактеризованими вище властивостями були одержані в експериментах, описаних нижче. Зіставлення властивостей проб необробленого та обробленого вугілля того самого сорту та класу, взятих з однієї й тієї самої партії, уможливорює визначення ступеня поліпшення кожної з семи властивостей палива в результаті оброблення згаданими способами та на згаданому устаткуванні. Більш конкретно нижче подано як приклад результати потрібних випробувань (Standard Laboratories) кожної з кількох груп проб необробленого та обробленого вугілля з класів бітумінозного вугілля та лігнітів. Для необробленого вугілля застосовано середні або "типові" властивості. Оскільки подані тут результати для обробленого вугілля одержано в рамках загальної програми випробування впливу змін параметрів процесу, вони не демонструють повний обсяг винаходу. Інакше кажучи, можна очікувати, що регульоване оброблення, спрямоване на досягнення цільових або оптимальних властивостей, уможливить одержання кращих результатів у порівнянні з досягнутими при оцінному переробленні. З цієї причини тут вказано "найкращі" значення кожної з властивостей обробленого вугілля; з демонстраційною метою ці значення зіставлено з "типовими" значеннями характеристик сирового (необробленого) вугілля.

Для ілюстрації можливостей зниження вологості, збільшення теплотворності та зниження зольності та вмісту всіх форм сірки за методологією процесу за цим винаходом застосовано три групи проб необробленого та обробленого вугілля. Усі ці проби було відібрано за випадковою схемою з великих партій, і всі результати одержано при випробуваннях, проведених в організації Standard Laboratories of South Charleston, West Virginia.

У поданих нижче Таблиці 1 та Таблиці 2 властивості необробленого вугілля, що відповідає міжнародним стандартам, зіставлено з характеристи-

ками вугілля з того самого місця видобутку, обробленого електромагнітним випромінюванням за способами, описаними вище.

Властивості проб, взятих із цієї партії необробленого вугілля за міжнародним стандартом, узгоджуються між собою у всіх випадках, за винятком проби №20731110. Більш значне зниження зольності в обробленому вугіллі за міжнародним стандартом спричиняє підвищену теплотворність у порівнянні з вугіллям за стандартом США. Як і у випадку необробленого вугілля, одна проба (а

саме проба №20925107) мала значно відмінні властивості, в цьому разі найвищі показники вмісту всіх форм сірки. Проте слід зазначити, що підвищений вміст сірки не має значного впливу на теплотворність, яка визначається, головним чином, вологістю та зольністю. Як правило, відмінності властивостей між пробами були незначними. Ці самі проби вугілля були оброблені також аналогічним, але не ідентичним способом (при інших значеннях параметрів та часу).

Таблиця 1

Вугілля за міжнародним стандартом, необроблене

Проба №	Теплотворність, БТО/фунт (1БТО/фунт=0,556ккал/кг)			Вологість, %	Зольність, %	Вміст сірки у сухій речовині, %			
	Пост.	Сух.	Без ВЗ			Загал.	Пірит	Сульф.	Орган.
20221113	12565	12846	14482	2,19	11,30	4,23	0,85	0,15	3,23
20221114	12556	12810	14417	1,99	11,15	4,16	0,78	0,14	3,24
20221115	12818	13080	14553	2,00	10,12	4,22	0,95	0,12	3,15
20221116	12182	12428	14415	1,98	13,78	4,31	1,02	0,14	3,15
20221117	12711	12970	14475	2,00	10,40	4,12	0,81	0,12	3,19
20221118	12627	12886	14562	2,01	11,51	4,32	0,92	0,13	3,27
20731110	14074	14334	14895	1,82	3,77	2,19	0,41	0,08	1,70
20731111	12361	13120	14624	1,97	10,29	3,97	1,29	0,13	2,55
Серед.	12736,75	13059	14553	2,00	10,29	3,94	0,88	0,13	2,94

Скорочення:

Пост. - в стані постачання

Сух. - в розрахунку на суху речовину

Без ВЗ - в розрахунку на суху беззольну речовину

Загал. - загальний вміст

Сульф. - сульфати

Орган. - органічна сірка

Серед. - середні значення

Таблиця 2

Вугілля за міжнародним стандартом, оброблене

Проба №	Теплотворність, БТО/фунт (1БТО/фунт=0,556ккал/кг)			Вологість, %	Зольність, %	Вміст сірки у сухій речовині, %			
	Пост.	Сух.	Без ВЗ			Загал.	Пірит	Сульф.	Орган.
20731112	14537	14659	14995	0,83	2,24	1,86	0,21	<0,01	1,65
20731113	14104	14303	14673	1,40	2,52	1,84	оді	0,01	1,72
20731114	13981	14267	14927	2,01	4,42	2,20	0,39	0,07	1,74
20731115	14064	14185	14790	0,85	4,09	2,11	0,33	0,05	1,73
20925107	13888	14090	14738	1,44	4,39	3,10	0,84	0,27	1,99
20925108	13805	14132	14766	2,31	4,29	1,93	0,21	0,02	1,70
20925109	14309	14479	14926	1,17	3,00	1,93	0,25	0,03	1,65
Серед.	14098	14302	14831	1,43	3,56	2,14	0,33	0,08	1,74
Різн.	1362	1243	278	(0,57)	(6,73)	(1,80)	(0,54)	(0,05)	(1,20)

Скорочення: Ті самі, що в Таблиці 1. Різн. - різниця (в зіставленні з необробленим вугіллям).

Подробиці оброблення вугілля за міжнародним стандартом

У Таблиці 2 подано результати випробування обробленого вугілля у Standard Laboratories (SL). Ці початкові випробування процесу були виконані з метою визначення характерного відгуку цих видів вугілля на параметри процесу. Для випро-

бувань було застосовано невелику (кухонного типу) камеру електромагнітного випромінювання низької потужності (1000Вт та нижче) та відносно невеликі проби (2-5фунтів - 0,9-2,27кг). В таких умовах виконувалися всі наші первинні лабораторні випробування процесу на "нових" видах вугілля.

При первинних випробуваннях, як правило, застосовувалися проби вугілля різних розмірів, кольорів тощо з метою визначення індивідуальних особливостей їхнього відгуку та впливу на властивості після обробки. При описаних тут випробуваннях кожен пробу також ділили на частини, деякі з них випробовувалися в товстому шарі, а інші в тонкому, а також у різних контейнерах або на різних піддонах, виготовлених, наприклад, зі скла Pyrex™; як альтернатива можуть бути застосовані тарілки з високотемпературної кераміки, алюмінізовані піддони та контейнери з інших високотемпературних матеріалів. Варіювалося розташування контейнерів у камері, а також застосовувана електромагнітна потужність та цикли навантаження (тривалості періодів вмикання та вимикання потужності). Окремі випробування виконували на тонко подрібнених пробах, грудках

середнього розміру та на деяких добре перемішаних пробах для визначення окремих та комбінованих ефектів. Нижче послідовно перелічені усі етапи процесу для перших чотирьох проб із Таблиці 2 разом із примітками та спостереженнями.

Проби 20731112 та 20731113 (за Таблицею 2)

Перед обробкою ці проби складалися з грудок розміром від дрібного до середнього. Для виведення рідин та газів до вихідного отвору камери було приєднано прозору трубку, але при обробленні цих проб повітря через камеру примусово не продувалося, і побічні продукти витіснялися з камери тільки внаслідок підвищення тиску атмосфери в камері при нагріванні.

Послідовність обробки для вихідної проби подано нижче:

Таблиця 3

Рівень потужності	Час (хв)	Примітки
5	1	Якщо не вказано інакше, енергію вимикали на 10с після кожного вказаного проміжку часу, за винятком періодів, коли камеру відкривали
8	2	Через 1хв у камері спостерігали жовту пару, але вологи у камері та в трубці не було. Через 1хв 40с видно густу пару. Надмірний нагрів; відключено для встановлення нижчого рівня потужності
5	1	Через 30с видно жовту пару; ознак вологи немає
5	2	Трубка заповнюється жовтим димом
5	2	Сильний потік диму
6	1	
6	1	
6	2	У трубці утворюється деяка кількість конденсату
6	2	Дуже сильний дим інтенсивного жовтого кольору та запах сірки
6	2	Коричневий відтінок залишку, що збирається біля нижнього кінця вихідної трубки
6	2	
6	2	У камері чути звук розтріскування, у трубці потік темно-жовтого диму
6	2	Камеру розкрито для спостереження. Вугілля гаряче, а камера заповнена димом
6	2	З камери виходить дим. Енергію вимкнуто через 1хв 20с. Вологи у камері немає, але на всій поверхні камери темно-коричневий залишок, можливо, початок вивільнення вуглеводнів. Кінець випробування

(1) Рівень потужності у камері обробки має умовні ступені від 1 до 10; рівень 10 відповідає найвищій потужності (приблизно 1000Вт), однак потужність не є точно лінійною функцією рівня, особливо на вищих рівнях.

Описаний вище процес було застосовано до однієї проби, поділеної на дві частини ('1112 та '1113) перед доправленням до Standard Laboratories для випробувань. Дані аналізів SL подано у Таблиці 2, яка свідчить, що зольність та вміст сірки у випробуваних зразках цієї групи знизилися більше ніж на 50%. Відмінності між властивостями двох оброблених проб знаходяться у прийнятних межах, особливо з урахуванням того, що розміщення проб та інші умови варіювалися, як вказано вище, і що це випробування було першим та визначальним для даної партії вугілля.

Загальна тривалість експозиції 24хв узгоджується з величиною проби, рівнями прикладеної потужності та з кількістю та забарвленням диму, що спостерігався під час обробки та після неї.

Проби 20731114 та 20731115 складалися повністю з дрібних грудок та дрібних гранул, які було вміщено на дві керамічні тарілки шаром висотою від 1/2 дюйма до 1/4 дюйма (1,2-0,6см); плоска тарілка була розташована поблизу найближчої до магнетрона стінки камери, а закрючена тарілка - поблизу протилежної стінки.

Таблиця 4

Рівень потужності	Час (хв)	Примітки
2	1	Рівні потужності умисно встановлено нижче, ніж для попередньої групи проб
2	1	
2	2	
2	2	
2	2	
3	1	
3	2	Спостерігається легкий туман у трубці
3	2	
4	2	
4	2	
4	2	У трубці видно деяку конденсацію. Обробку припинено після сумарної експозиції 24хв (для порівняння з попередніми випробуваннями, виконаними при вищих рівнях потужності). Волога та дим відсутні, повітря в камері та поверхня вугілля теплі, але не гарячі. Поява та кількість диму, безумовно, залежать від розміру грудок вугілля, розміщення та розподілу проб, циклу навантаження та часу. Починається вихід диму з трубки
5	1	
5	1	Спостерігається більша кількість диму
5	1	Верхня кришка камери гаряча на дотик; повернення до нижчої потужності
4	1	
4	2	
4	2	Припинення обробки для огляду. Камера всередині заповнена димом, проте волога на стінках камери та забарвлення, характерне для вуглеводнів, відсутні. Вугілля тепле, але не гаряче
4	2	Через 1хв 40с спостерігається дим
4	2	Дим у камері та у трубці
4	2	
4	2	
4	2	
4	2	
4	2	Потемніння на трубці ще немає
4	2	Припинення обробки для відкривання камери. Певна кількість диму, але потемніння немає
4	2	
4	2	
4	2	
4	2	
4	2	Припинення обробки для відкривання камери. Видалено невеликий шматок, вигляд якого вказує на перегрів
4	2	
5	1	Швидко відновлюється виділення диму
5	1	
5	1	
5	1	
5	1	
5	1	Припинення обробки для відкривання камери, яка заповнена жовтим димом
5	1	Відсутність диму
5	1	Виділення диму відновлюється
5	9	Послідовні 10 періодів подачі енергії з 10-секундними перервами, після 9-го періоду камеру відкрито
5	2	Інтенсивне виділення диму. Припинення обробки для видалення вмісту закругленої пластини після 79хв загальної експозиції (проба 1114) і продовження обробки тільки вмісту плоскої пластини (проба 1115)
4	2	Відновлюється виділення жовтого диму
4	2	Припинення обробки для відкривання камери. Дрібні грудки, найближчі до магнетрону, сильно димлять
4	2	Повторне припинення обробки і переміщення тарілки в напрямі центру камери
4	2	

4	2	Звук розтріскування керамічної тарілки, яка перегрілася та розтріскалася
5	1	
5	2	Відсутність диму в трубі та на виході з неї
7	1	
7	1	Вихід диму з труби
7	1	Продовження виходу диму
7	1	Сильний дим у камері та трубі. Повторні звуки розтріскування. Припинення обробки для відкривання камери. Кілька тріщин у керамічній тарілці. Припинення випробування після 96хв загальної експозиції проби 1115

Найчастіше при обробці спочатку спостерігається розтріскування з подальшим вивільненням вологи, золи та сірки у вказаній послідовності. Для цього вугілля за міжнародним стандартом вивільнення сірки, очевидно, передувало вивільненню вологи, проте вивільнення незначних кількостей вологи до вивільнення сірки може залишатися непомітним внаслідок низької вологості цього вугілля.

Зіставлення властивостей:

У пробах '1112 та '1113 виявлено значно більше зниження зольності та загального вмісту сірки, ніж для проб '1114 та '1115. Більш ефектне зниження зольності та вмісту сірки безпосередньо зв'язане із застосуванням підвищених рівнів потужності (5-6, що відповідає приблизно 600-700Вт) і, отже, зі скороченою тривалістю обробки для проб '1112 та '1113. Для порівняння, для проб '1114 та '1115 застосовано нижчу потужність (переважно рівні 4 та 5) та значно подовжену тривалість обробки, при якій ще не досягалися показники зниження, близькі до результатів, одержаних для перших двох проб. Усі ці випробування показали, що вугілля є дуже чутливим до потужності обробки, тобто для кожного вугілля існує певна порогова потужність, при якій у вугіллі починаються значні та іноді раптові зміни. Після визначення таких порогових значень для певного вугілля можна випробовувати комбінації параметрів обробки для визначення комбінацій параметрів, при яких досягаються згадані порогові значення. Потім процес для цього вугілля можна відрегулювати з метою досягнення вказаного порогу шляхом застосування визначених комбінацій параметрів.

Варіювання параметрів потужності та часу:

Описані нижче випробування виконувалися на техаських лігнітах. Метою цих випробувань було показати, що існує можливість тонкого кіль-

кісного регулювання зниження вологості і, як наслідок, теплотворності шляхом застосовування різних комбінацій прикладеної до вугілля електромагнітної потужності та часу перебування в камері обробки.

Початкове цільове значення теплотворності обробленого палива було умисно встановлено вище досить високого рівня 7000БТО/фунт (3890ккал/кг) і поступово доведено до значення дещо менше 8000БТО/фунт (4450ккал/кг) за допомогою регульованих етапів шляхом незначних варіацій потужності та часу, починаючи з 8381БТО/фунт (4650ккал/кг) та вологості 26,11% і закінчуючи 7926БТО/фунт (4406ккал/кг) та вологістю 23,21%. Як видно з поданої нижче Таблиці 5, параметри потужність/час 5/70 піднімають планку надто високо, причому використання тієї самої потужності при подовженні обробки на 50 с можливе зниження теплотворності (нагадаємо, що кожний рядок даних у Таблиці 5 відповідає окремій пробі з однієї партії (А) лігніту). Оскільки час обробки завжди має істотне значення, подальше регулювання виконували шляхом підвищення потужності та скорочення часу, при цьому досягався очікуваний результат зниження теплотворності. Наступні дві проби обробляли при однакових заданих співвідношеннях потужності/час із додатковим скороченням часу та забезпеченням відповідної "збалансованої" підвищеної потужності. Відмінності між результатами для цих двох проб (30728125 та 30728126) лежать у межах прийнятних діапазонів для обробки різних проб і додатково посвідчують внутрішню логічність методологічного процесу. Нарешті, для останньої проби був застосований той самий підвищений рівень потужності (дивись нижче), однак тривалість обробки було збільшено на 5с, причому була досягнута цільова характеристика теплотворності.

Таблиця 5

(лігніт, Е)

Номер типової проби Е (обробл.)	БТО/фунт (у стані постачання)	Зміна, %	Вологість	Зміни, %	Потужність (кВт)	Час обробки (с)
Середнє для сирового	7294		36,35			
30728122.00	8381	14,9	26,11	(28,17)	5	70
30728123.00	8278	13,49	22,42	(38,32)	5	120
30728124.00	8151	11,75	22,86	(37,11)	10	45
30728125.00	8074	10,69	24,27	(33,23)	20	10
30728126.00	8016	9,9	25,9	(28,75)	20	10
30728127.00	7926	8,66	23,21	(36,15)	20	15

Приклади, наведені в Таблиці 5, подано для того, щоб показати, як можна застосувати тільки два з основних параметрів процесу для досягнення конкретних значень теплотворності та вологості. Слід зазначити, що ті самі партії лігніту були попередньо досліджені та оброблені в наших лабораторних системах, отже, ми мали інформацію про їх властивості та відгуки на багатопараметричну обробку електромагнітним випромінюванням. Маючи цю інформацію, ми змогли точно прогнозувати зміни, яких можна було очікувати при варіюванні тільки потужності та часу. Аналогічну методологію можна застосувати для встановлення в лабораторних або польових умовах цільових значень кожної з властивостей до оброблення будь-якого типу вугілля у промислових масштабах.

В Таблиці 6 подано приклад застосування методології, аналогічної використаній у випробуваннях, охарактеризованих у Таблиці 5. Одинадцять окремих проб, взятих з тієї самої партії лігніту, позначеної як "А", піддавали обробці при постійних значеннях усіх параметрів процесу, за винятком електромагнітної потужності та часу

обробки. Метою споживача цього лігніту було досягти зниження вологості на 8-12% та відповідної теплотворності вище 7000БТО/фунт (3890ккал/кг). Для двох із 11 оброблених проб, а саме 30728111 та '119, теплотворність значно відрізнялася (була нижчою) від інших проб, причому перша зі згаданих проб мала також найвищу вологість. Перша випробувана комбінація параметрів (5кВт та 30с) була явно недостатньою для досягнення бажаного зниження вологості у згаданій пробі, що було видно також із відносно малої кількості водяної пари, що спостерігалася на виході камери обробки під час оброблення проби. В таблиці подано результати застосування різних комбінацій потужності та часу, причому всі комбінації, за винятком 20/15, забезпечували цільові показники. Для трьох сукупностей проб, а саме '113/'114, '115/'116 та '119/'120/'121, застосовували однакові параметри процесу, в тому числі потужність та час. Відмінності між властивостями проб у кожній з цих сукупностей можна пояснити відмінностями власних характеристик проб, а не відмінностями, що виникли під час обробки.

Таблиця 6

(лігніт, А)

№ проби	БТО/фунт (у стані постач.)	Зміна БТО/фунт, %	Вологість, %	Зміна вологості, %	Потужність, кВт	Час обробки, с
Середнє для сирового	6356		36,05			
Обробл.						
30728111.00	6913	8,76	32,90	(8,74)	5	30
30728112.00	7662	20,55	22,47	(27,76)	5	120
30728113.00	8307	30,70	23,16	(35,76)	5	90
30728114.00	7977	25,50	27,13	(24,74)	5	90
30728115.00	8177	28,65	24,51	(32,01)	10	45
30728116.00	8034	26,40	24,42	(32,26)	10	45
30728117.00	8189	28,84	25,08	(30,43)	20	17
30728118.00	7948	25,05	25,26	(29,93)	20	9
30728119.00	7243	13,96	24,41	(40,61)	20	15
30728120.00	7905	24,37	23,90	(33,70)	20	15
30728121.00	8121	27,77	23,54	(34,70)	20	15
Середнє (для всіх)	7861	24,89				
Середнє (без 111)	7956	24,09				

Таблиця 7

(лігніт, F)

№ проби	БТО/фунт (у стані постач.)	Зміна БТО/фунт, %	Вологість, %	Зміна вологості, %	Потужність, кВт	Час обробки, с
Середнє для сирового	6849		32,97			
Обробл.						
30728128	8517	24,35	19,88	(39,70)	10	45
30728129	8545	24,76	20,76	(37,03)	20	15
30728130	8280	20,89	18,43	(44,10)	20	15
30728131	8838	29,04	12,97	(60,66)	20	30
30728132	9854	43,88	4,74	(85,62)	5	300
30728133	10318	50,65	6,28	(80,95)	5	300
30728134	10210	49,07	7,81	(76,31)	30	15

Ці результати ще раз ясно свідчать, що придатність методології процесу для варіювання параметрів процесу можна ефективно застосовувати для досягнення конкретного зниження вологості та, як наслідок, відносно вузького діапазону теплотворності навіть у партії вугілля (або в кожній з партій вугілля), проби якої мають певний розподіл розмірів та властивостей. Крім того, ці результати свідчать, що для визначення діапазону комбінацій потужності та часу, які можна застосувати для досягнення бажаних властивостей, є достатньою відносно незначна кількість випробувань. Нарешті, за допомогою простих попередніх випробувань можна оцінити також кількості золи та сірки у сировому вугіллі та відгук конкретного виду вугілля на обробку. Як наслідок, система здатна в разі потреби поліпшити загальні паливні властивості вугілля не тільки за рахунок простого зниження вологості.

Будь-яка спроба проведення змістовних лабораторних випробувань вимагає врахування

величини проби, розмірів та конфігурації камери, наявної електромагнітної потужності та її частоти або частот, можливостей варіювання потужності та циклу навантаження, стабільності та відтворюваності лабораторної системи та щонайменше оцінки реальної потужності електромагнітної енергії, що діє на поверхню вугілля. Лабораторні випробування, наприклад, описані вище, можуть забезпечити основні вихідні характеристики відгуку вугілля, необхідні для розробки загальної технологічної системи, здатної забезпечити досягнення конкретних властивостей вугілля згідно з вимогами замовника.

У поданій нижче Таблиці 8 вказані характеристики зниження вологості, вмісту сірки, зольності та показника викидів, а також збільшення теплотворності для широкого різноманіття видів вугілля при їх обробленні способами за цим винаходом.

Таблиця 8

Зразок	B, % вих.	B, % оброб.	B, % зниж.	S, % зниж.	Зол. % зниж.	БТО/фунт вих.	БТО/фунт оброб.	БТО/фунт % підв.	EI, % зниж.
IL1	47,87	44,32	07	ND	ND	5851	6269	07	ND
1L2	52,92	46,94	11	ND	ND	5363	5949	11	ND
PRB1	26,10	22,46	14	NA	14	8960	9608	07	05
TL1	36,05	29,22	19	ND	ND	6356	7788	22	ND
WY1	21,65	17,05	21	05	06	10251	11345	11	10
WY2	20,16	15,66	22	10	18	10232	11431	12	16
IB1	2,00	1,43	29	46	67	12737	14096	11	51
TL2	36,05	24,89	31	ND	ND	6356	7861	24	ND
WY3	20,16	11,45	33	10	13	10232	11537	13	24
IB2	2,15	1,10	48	37	61	12969	14326	09	05
TL3	36,35	17,44	52	NC	NA	7294	7722	06	05
PA	3,36	1,35	60	21	08	13792	13991	01	21
PRB2	26,10	8,69	67	12	NA	8960	11129	24	28
DL3	25,58	8,16	68	68	25	8195	11282	38	76
WY4	20,16	5,81	71	07	13	10232	12254	20	22
OB	3,40	0,89	74	47	26	12537	13442	07	51
TL4	32,97	6,28	81	12	NA	6849	10127	48	42
TL5	38,30	4,99	87	34	09	7266	11040	52	57
PRB3	26,10	2,86	89	12	10	8960	11916	33	28
ELPC	6,49	0,69	89	02	NC	14365	15196	06	07
OK	3,96	0,42	89	04	04	13871	14377	14	07
AL	14,89	1,34	91	NC	20	12247	14112	15	14

Значення аббревіатур у Таблиці 8:

B, S - вологість, сірка

вих. - сирове вугілля

оброб. - оброблене вугілля

зниж. - зниження

підв. - підвищення

EI - індекс викидів: кг SO₂/Гкал

ND - відсутність даних або недостатні дані

NA - не застосовується

NC - без помітних змін

IL1 - індійський лігніт, штат Ньювелі (Neyveli (SW))

IL2 - індійський лігніт, штат Ньювелі (SW)

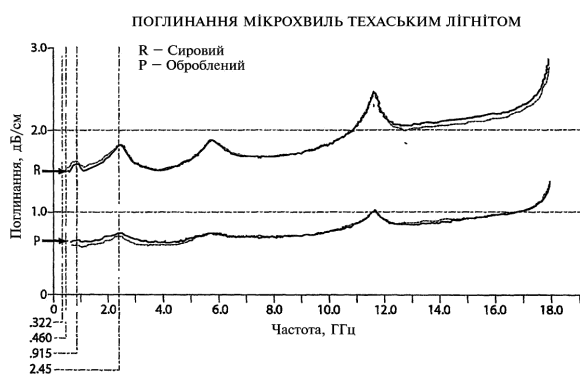
IL3 - індійський лігніт, штат Гуджарат (NW)

IB - індійське бітумінозне вугілля, штат Ассам (Assam (NE))

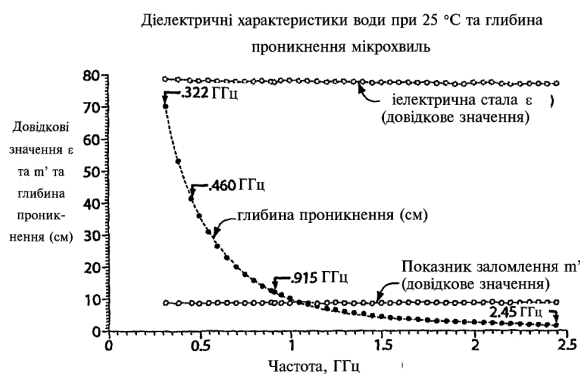
WY - суббітумінозне вугілля, штат Вайомінг (Wyoming)
 PA - бітумінозне вугілля, штат Пенсільванія (Pennsylvania (NW))
 PRB - суббітумінозне вугілля, штат Вайомінг, басейн р. Паудер-Рівер (Wyoming Powder River Basin)
 OB - бітумінозне вугілля, штата Огайо (Ohio (SE))
 TL - лігніт, Східний Техас (East Texas)
 ILPC - кокс, штат Іллінойс (Illinois Green Pet)
 OK - бітумінозне вугілля, штат Оклахома (Oklahoma)
 AL - м'яке бітумінозне вугілля, штат Алабама (Alabama)

При описуванні варіантів здійснення винаходу для ясності застосовано спеціальну термінологію. Для цілей опису мається на увазі, що кожний спеціальний термін щонайменше охоплює усі технічні та функціональні еквіваленти, які працюють аналогічним чином для досягнення аналогічних цілей. Наприклад, посилання в цьому описі на мікрохвилі слід розуміти також як такі, що включають дещо нижчі частоти, які можна охарактеризувати технічно як радіохвилі, за умови, що ці частоти аналогічно впливають на проби твердих палив. Аналогічно, в описі, як правило, згадується вугілля, проте ці способи можна застосова-

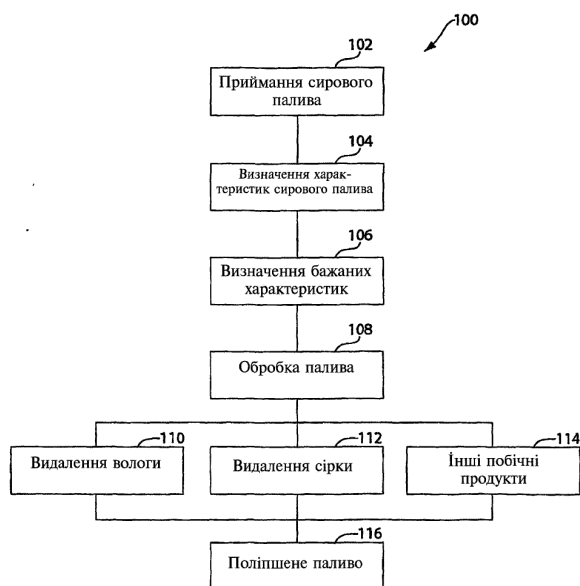
ти до інших твердих органічних палив. Крім того, в деяких випадках, коли конкретний варіант здійснення винаходу включає кілька елементів системи або етапів способу, ці елементи та етапи можуть бути замінені одним елементом або етапом; аналогічно, один елемент або етап може бути замінений кількома елементами або етапами, призначеними для тієї самої мети. Крім того, хоча цей винахід показано та описано з посиланнями на конкретні варіанти його здійснення, для фахівців зрозуміло, що можливі інші різноманітні зміни у формах та подробицях без виходу за межі обсягу винаходу.



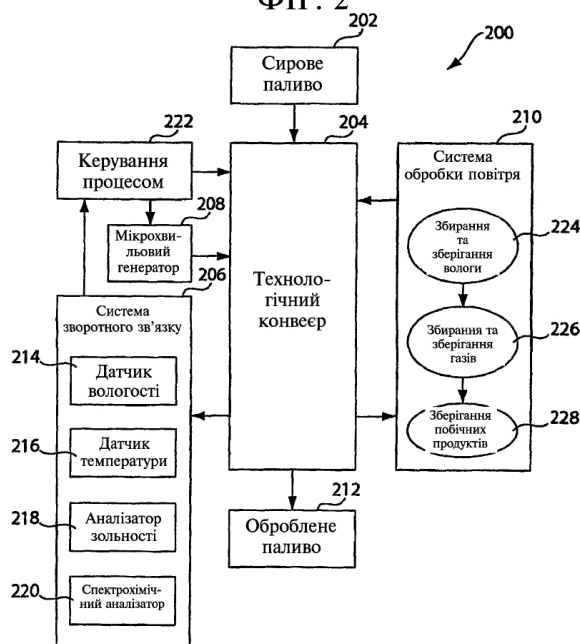
ФІГ. 1



ФІГ. 2



ФІГ. 3



ФІГ. 4

59

84185

60

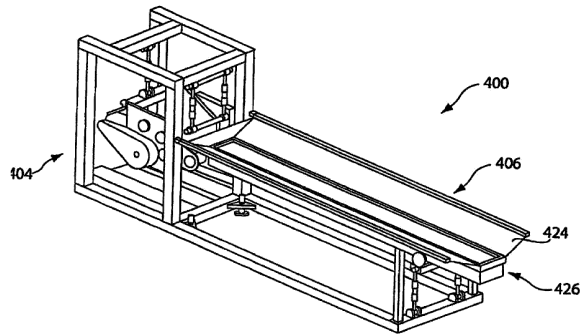


FIG. 5

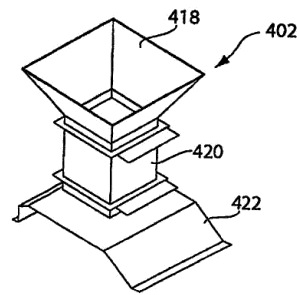


FIG. 6

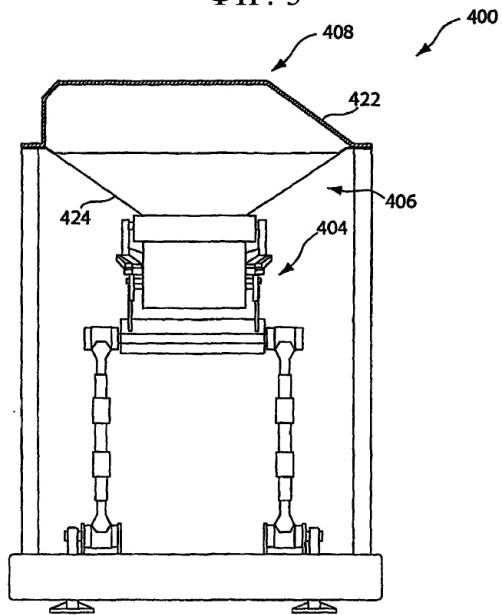


FIG. 7

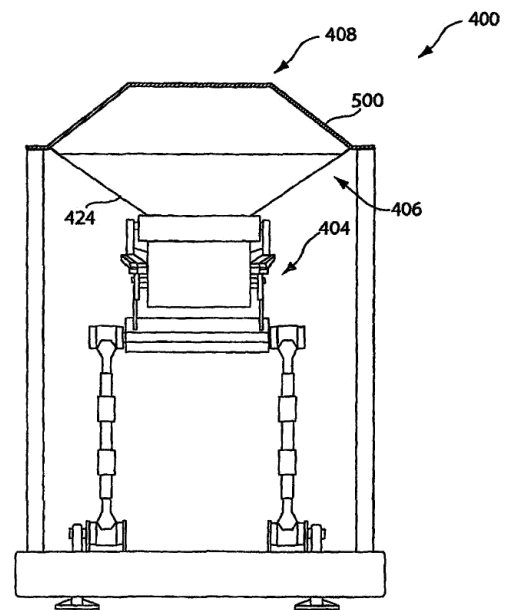


FIG. 8

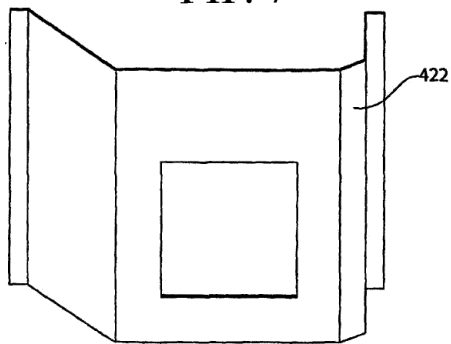


FIG. 9

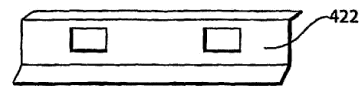


FIG. 10

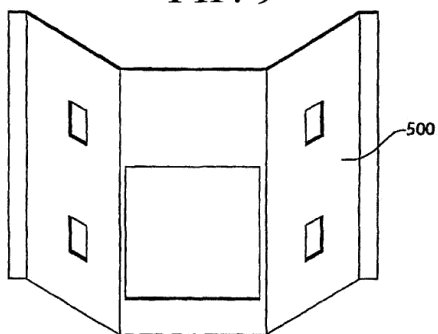


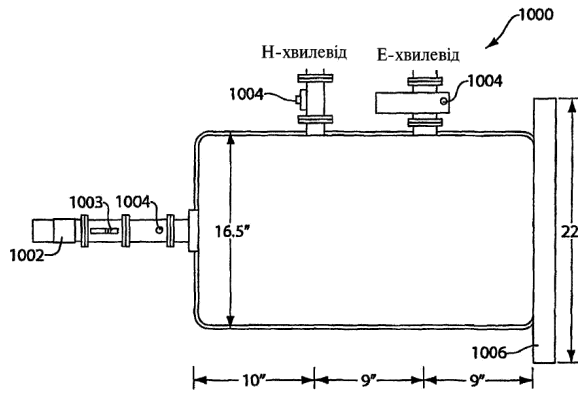
FIG. 11



FIG. 12

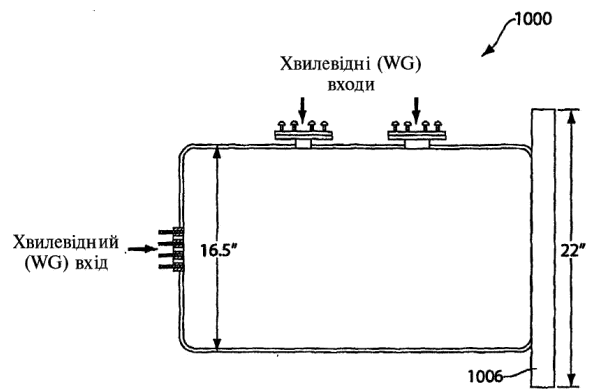
61

84185

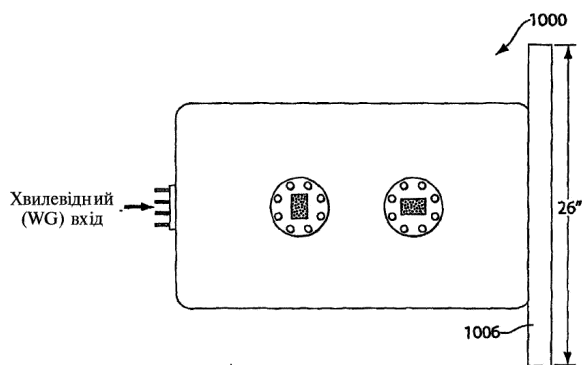


ФІГ. 13

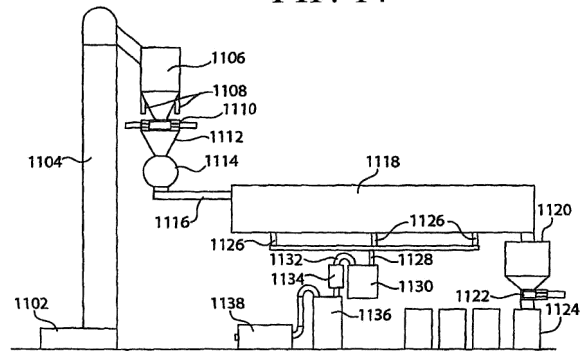
62



ФІГ. 14



ФІГ. 15



ФІГ. 16