



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 51797

(13) C2

(51) 6 G01N22/00

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

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ СИПУЧОГО МАТЕРІАЛУ ТА СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ СИПУЧОГО МАТЕРІАЛУ (ВАРІАНТИ)

1

2

(21) 2000020606

(22) 04 07 1998

(24) 16 12 2002

(86) PCT/DE98/01905, 04 07 1998

(31) 197 28 612 7

(32) 04 07 1997

(33) DE

(46) 16 12 2002, Бюл. № 12, 2002 р

(72) Конрадс Ганс Георг, DE, Клюш Фольхард , DE

(73) ПРОМЕКОН ПРОЦЕСС- УНД МЕССТЕХНІК  
КОНРАДС ГМБХ, DE

(56) EP 0669522

(57) 1 Спосіб вимірювання кількості сипучого матеріалу з відомими діелектричними властивостями, який переноситься у завислому стані в газовому транспортуючому середовищі в заданому напрямку всередині труби, який відрізняється тим, що в трубі створюють електропровідний вимірювальний відрізок, з першої точки вимірювального відрізка збуджують принаймні одне змінне електричне поле практично при відсутності розповсюдження хвиль, проводять первинне вимірювання при заданому вмісті сипучого матеріалу на вимірювальному відрізку затухання змінного електричного поля як функції частоти у другій точці вимірювального відрізка, яка є віддаленою від першої точки, окреслюють криву, яка визначає затухання електричного поля між першою і другою точками в залежності від частоти, як опорну величину задають значення практично лінійного відрізка на найбільш крутому відрізку кривої між верхнім пороговим значенням з відповідною йому низькою частотою та нижнім пороговим значенням з відповідною йому високою частотою, вводять невизначену масу завислого сипучого матеріалу у вимірювальний відрізок і одержують значення, яке визначає кількість сипучого матеріалу в цій невизначеній масі шляхом визначення зсуву по частоті на практично лінійному відрізку

2 Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що додатково використовують приймальну та передавальну антени відповідно в першій та другій точках

3 Спосіб за п. 2, який відрізняється тим, що приймальна та передавальна антени є непогод-

женими

4 Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що змінне електричне поле створюють шляхом подання енергії на передавальну антену від потужного генератора високої спектральної чистоти

5 Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що на практично лінійному відрізку кривої вибирають опорну точку з відповідним затуханням та частотою і збуджують друге змінне електричне поле на другій частоті, яка є нижчою за частоту відсички, зменшеній на величину зсуву частоти  $\Delta f$  при максимальному вмісті сипучого матеріалу у транспортуючому середовищі, який розраховують за допомогою рівняння

$$(\Delta f = f_0(1 - 1/\sqrt{\mu \epsilon_r})), \text{ де}$$

$f_0$  є опорною частотою порожньої труби або каналу,  $\mu$  є відносною магнітною проникністю, а  $\epsilon_r$  є відносною діелектричною проникністю суміші газоподібного середовища-носія та даної кількості твердого та/або рідкого матеріалу, підвищують другу частоту доти, доки відповідне їй затухання не зрівняється з затуханням, яке відповідає опорній точці, визначають різницю між підвищеною нижньою частотою і частотою, яка відповідає опорній точці, і по цій різниці визначають величину, яка являє собою кількість сипучого матеріалу, завислого у транспортуючому середовищі

6 Спосіб за п. 5, який відрізняється тим, що нижню частоту підвищують прирощуваннями, які не перевищують різниці по частоті між верхнім та нижнім пороговими значеннями, доти, доки відповідне їй затухання не буде в інтервалі між верхнім та нижнім пороговими значеннями, при цьому частоту екстраполують на затухання у відповідній опорній точці

7 Спосіб за п. 5, який відрізняється тим, що крива має точку згину, а практично лінійний відрізок вибирають таким чином, щоб він мав цю точку згину

8 Спосіб за п. 5, який відрізняється тим, що точку згину вибирають як опорну точку

9 Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що він додатково включає вимірювання флуктуацій в часі для густини сипучого матеріалу в точці, яка знаходиться на заданій відстані нижче по потоку від першої точки, та в другій точці, яка знаходиться на

(13) C2

(11) 51797

(19) UA

заданий відстані вище по потоку від першої точки, вимірювання часового інтервалу між вказаними точками, які знаходяться нижче та вище по потоку від першої точки, вимірювання величини швидкості переміщення сипучого матеріалу нижче та вище по потоку від першої точки

10 Спосіб визначення витрат сипучого матеріалу з відомими діелектричними властивостями, що переноситься газовим транспортуючим середовищем у трубі, який відрізняється тим, що в трубі створюють електропровідний вимірювальний відрізок, з двох перших точок у вимірювальному відрізку послідовно збуджують перше та друге співвісні змінні електричні поля, зсунуті одне відносно іншого по азимуту на  $90^\circ$ , практично при відсутності розповсюдження хвиль, проводять вимірювання при заданому вмісті сипучого матеріалу на вимірювальному відрізку затухання першого і другого змінних електричних полів у двох других точках, віддалених по осі від двох перших точок по азимуту на  $90^\circ$ , окреслюють першу та другу криві, які визначають затухання як функцію частоти першого та другого змінних електричних полів між першими і другими точками, як опорні величини задають практично лінійні відрізки на найбільш крутому відрізку кривої між верхнім пороговим значенням, якому відповідає низька частота, і нижнім пороговим значенням, якому відповідає висока частота, одержують величини, які визначають кількість сипучого матеріалу, завислого у транспортуючому середовищі, шляхом визначення зсуву частоти на практично лінійному відрізку кожної кривої

11 Спосіб за п 10, який відрізняється тим, що використовують пари передавальних і пари приймальних антен відповідно в першій і другій точках

12 Спосіб за п 11, який відрізняється тим, що приймальна та передавальна антени є непогодженими

13 Спосіб за п 12, який відрізняється тим, що змінне електричне поле створюють шляхом подання енергії на передавальну антену від потужного генератора високої спектральної чистоти

14 Спосіб за п 10, який відрізняється тим, що на практично лінійному відрізку кривої вибирають опорну точку з відповідним затуханням та частотою і збуджують друге змінне електричне поле на другій частоті, яка є нижчою за частоту відсічки, зменшений на величину зсуву частоти  $[\Delta f]$  при максимальному вмісті сипучого матеріалу у транспортуючому середовищі, який розраховують за допомогою рівняння

$$(\Delta f = f_0(1 - 1/\sqrt{\mu_r \epsilon_r})), \text{ де}$$

$f_0$  є опорною частотою порожньої труби або каналу,  $\mu_r$  є відносною магнітною проникністю, а  $\epsilon_r$  є відносною діелектричною проникністю суміші газоподібного середовища-носія та даної кількості твердого та/або рідкого матеріалу, підвищують другу частоту доти, доки відповідне їй затухання не зрівняється з затуханням, яке відповідає опорній точці, визначають різницю між підвищеною нижньою частотою і частотою, яка відповідає опорній точці, і по цій різниці визначають величину, яка являє собою кількість сипучого матеріалу, завислого у транспортуючому середовищі

15 Спосіб за п 14, який відрізняється тим, що середнє значення кількості сипучого матеріалу, завислого у транспортуючому середовищі, визначають шляхом ділення суми різниць, при цьому діл, вказані в п 13, періодично повторюють доти, доки середнє значення не буде у межах заданого інтервалу величин

16 Спосіб за п 14, який відрізняється тим, що нижні частоти підвищують прирощуваннями, які не перевищують різниці по частоті між верхнім та нижнім пороговими значеннями доти, доки відповідні їй затухання не будуть в інтервалі між верхнім та нижнім пороговими значеннями, при цьому частоти екстраполюють на затухання у відповідній опорній точці

17 Спосіб за п 14, який відрізняється тим, що крива має точку згину, а практично лінійний відрізок вибирають таким чином, щоб він мав ці точки згину

18 Спосіб за п 14, який відрізняється тим, що точки згину вибирають як опорні точки

19 Спосіб визначення витрат сипучого матеріалу з відомими діелектричними властивостями, що переноситься газовим транспортуючим середовищем у трубі, який відрізняється тим, що в трубі створюють електропровідний вимірювальний відрізок, послідовно збуджують з двох перших точок у вимірювальному відрізку перше та друге змінні синхронізовані по фазі електричні поля, зсунуті одне відносно іншого по азимуту на  $90^\circ$ , практично при повній відсутності хвиль, що розповсюджуються, складають перше і друге змінні електричні поля з одержанням нового результуючого поля, проводять вимірювання при заданому вмісті сипучого матеріалу на вимірювальному відрізку затухання нового результуючого поля у двох других точках, віддалених по осі від двох перших точок і зсунутих одна відносно іншої по азимуту на  $90^\circ$ , окреслюють криву, яка визначає затухання як функцію частоти нового результуючого поля між першими і другими точками, як опорні величини задають практично лінійні відрізки на найбільш крутому відрізку кривої між верхнім пороговим значенням, якому відповідає низька частота, і нижнім пороговим значенням, якому відповідає висока частота, одержують величини, які визначають кількість сипучого матеріалу, завислого у транспортуючому середовищі, шляхом визначення зсуву частоти на практично лінійному відрізку кожної кривої, обертають результуюче змінне електричне поле в азимутальному напрямі шляхом зміни амплітуд першого та другого змінних електричних полів і згортання фази одного з цих полів доти, доки не будуть виявлені максимальні і мінімальні значення кількості сипучого матеріалу, після цього згідно з максимальним і мінімальним значеннями кількості сипучого матеріалу та їх просторовим співвідношенням визначають міру загального вмісту сипучого матеріалу та приблизне місцезнаходження і щільність потоку частинок, що знаходиться в кутовому діапазоні  $180^\circ$

20 Спосіб за п 19, який відрізняється тим, що використовують пари передавальних і пари приймальних антен відповідно в першій і другій точках

21 Спосіб за п 20, який відрізняється тим, що приймальна та передавальна антени є непогод-

женими

22 Спосіб за п 21, який відрізняється тим, що змінне електричне поле створюють шляхом подання енергії на передавальну антену від потужного генератора високої спектральної чистоти

23 Спосіб за п 19, який відрізняється тим, що на практично лінійному відрізку кривої вибирають опорну точку з відповідним затуханням та частотою і збуджують друге змінне електричне поле на другій частоті, яка є нижчою за частоту відсічки, зменшений на величину зсуву частоти  $[\Delta f]$  при максимальному вмісті силучого матеріалу у транспортуючому середовищі, який розраховують за допомогою рівняння

$$(\Delta f = f_0(1 - 1/\sqrt{\mu_r \epsilon_r})), \text{ де}$$

$f_0$  є опорною частотою порожньої труби або каналу,  $\mu_r$  є відносною магнітною проникністю, а  $\epsilon_r$  є відносною діелектричною проникністю суміші газоподібного середовища-носія та даної кількості твердого та/або рідкого матеріалу, підвищують другу частоту доти, доки відповідне їй затухання не зрівняється з затуханням, яке відповідає опорній точці, визначають різницю між підвищеною нижньою частотою і частотою, яка відповідає опорній точці, і по цій різниці визначають величину, яка являє собою кількість силучого матеріалу, завантаженого у транспортуючому середовищі

24 Спосіб за п 23, який відрізняється тим, що нижню частоту підвищують приращуваннями, які не перевищують різниці по частоті між верхнім та нижнім пороговими значеннями, доти, доки відповідне їй затухання не буде в інтервалі між верхнім та нижнім пороговими значеннями, при цьому частоту екстраполюють на затухання у відповідній опорній точці

25 Спосіб за п 23, який відрізняється тим, що крива має точку згину, а практично лінійний відрізок вибирають таким чином, щоб він мав цю точку згину

26 Спосіб за п 23, який відрізняється тим, що точку згину вибирають як опорну точку

27 Спосіб за п 19, який відрізняється тим, що з першої точки збуджують додаткове змінне електричне поле на частоті, що знаходиться у межах практично лінійного відрізка кривої, реєструють вказане додаткове змінне електричне поле у віддаленій точці, яка зсунута по азимуту від першої точки на  $90^\circ$ , задають положення струменя по співвідношенню фаз змінних напруг, які виникли у вказаній віддаленій точці, виходячи з місцезнаходження другої точки по азимуту, який дорівнює  $0^\circ$ , кутове положення струменя встановлюють у межах від  $90^\circ$  до  $270^\circ$  у випадку синфазності та у межах від  $270^\circ$  до  $90^\circ$  у випадку протифазності

Винахід описує спосіб визначення кількості твердого або рідкого матеріалу у двофазному потоці з газоподібним середовищем носія. Оптимізація застосування винаходу полягає у визначенні кількості вугільного пилу, який пневматичним способом транспортується у трубах для вугілля пилового котла

Транспортування твердих або рідких матеріалів у формі дуже дрібних частинок у двофазному потоці з газоподібним середовищем носія відбувається у турбулентному потоці при досягненні достатньої швидкості транспортування, а також достатній масовій витраті твердого та/або рідкого матеріалу. Особливо транспортування дрібних твердих частинок часто веде до феномена під назвою "сепарація", коли у певних ділянках площини перерізу транспортувальної труби у високій концентрації збирається твердий матеріал. Ці ділянки високої концентрації порошкоподібного матеріалу або згустки можуть перебувати у постійному місці площини перерізу і бути дуже стійкими у цій позиції з плином часу. В інших випадках вони можуть швидко змінювати своє місце перебування у площини перерізу, а також змінювати свою геометричну форму та/або густину (тобто певну концентрацію твердого матеріалу у згустку). У кожній точці розділення труби (тобто там, де труба розділяється на кілька інших трубопроводів) розподіл потоку твердої маси у трубах, що розходяться, може суттєво відрізнитися через феномен сепарації. Отже, труби, що відходять від підвідної труби, можуть забезпечувати різну масову витрату твердих матеріалів, оскільки згусток вугілля, присутній

у підвідній трубі, розподіляється нерівномірно між трубопроводами, що відходять. Таким чином, великою проблемою є визначення кількості пневматичним способом транспортованого матеріалу, особливо у системі трубопроводів, яка розділяється на багато окремих трубопроводів

Деякі відомі способи вимірювання, такі як ізокінетичний метод відбору проб у різних точках, не забезпечують високої точності вимірюваних значень, оскільки вони статистично достовірно не охоплюють згустків у площі перерізу. Крім того, ці вимірювання забирають дуже багато часу, бо достовірний результат можна одержати лише через кілька годин. Таким чином, подібні вимірювання не можуть бути застосовані у замкненій системі

Для того, щоб контролювати процес транспортування і врівноважувати кількість транспортованого твердого матеріалу у системі трубопроводів, потрібна швидка оперативна система вимірювання. Протягом тривалого часу робилися спроби застосування з цією метою мікрохвильових систем вимірювання. Щоб цього досягти, у трубу в певному місці вводили мікрохвилі певної частоти і приймали їх вище або нижче відносно напрямку потоку у трубі, вимірюючи у цьому місці амплітуду, а також фазу мікрохвиль. Фізичною основою цього принципу вимірювання є той факт, що концентрація твердого матеріалу у газі-носії або концентрація рідини у газі-носії веде до зміни комплексної діелектричної проникності на вимірюваній ділянці труби, і те, що мікрохвилі зазнають затухання та зсуву фаз залежно від величини цієї діелектричної проникності. Спосіб вимірювання згідно з цим фі-

зичним принципом описано у патентах EP 0717269, EP 0669522 або US 5177334. Чутливість цих способів та застосування мікрохвиль у цих типах пневматичних систем транспортування не є достатніми, особливо, якщо кількість транспортованого матеріалу значно відрізняється у різних трубах, а надто, коли згустки, які надзвичайно нерівномірно розподіляються по перерізу труби у кожному трубопроводі, спричиняють величезну різницю у концентрації за місцем твердого або рідкого матеріалу у будь-якій конкретній точці площі перерізу. Для типового застосування для вимірювання вугільного пилу в енергетичних установках з пилувальним котлом необхідна роздільна здатність вимірювання в 1 г твердої речовини на 1 м<sup>3</sup> газу-носія. Такі низькі концентрації вугілля викликають надзвичайно низьке коливання комплексної діелектричної проникності, а отже, впливають на затухання, а також зсув фаз мікрохвиль дуже слабо.

Вимірювання масової витрати з застосуванням мікрохвиль, крім того, спричиняє величезні проблеми, викликані відбиттям мікрохвиль. Особливо при низьких концентраціях затухання мікрохвиль усередині труби (яка виконує функцію хвилеводу) є дуже низьким, і хвиля, таким чином, проходить майже без втрат і може поширюватися на дуже довгі відстані, внаслідок чого при кожній зміні площі перерізу трубопроводу (як у кожній точці розділення труби) хвиля відбивається й поширюється назад, і це призводить до утворення стоячої хвилі у трубі. Це може призвести до резонансів у трубі, які впливають на результати вимірювання й зводять вимірювання нанівещ. Ще один недолік відомих мікрохвильових способів полягає у необхідності суттєвих фізичних змін у трубі. Як правило, для цього необхідно підготувати певну частину труби для вугілля таким чином, щоб вона мала дуже високу геометричну точність, а також дуже точно відрегульовані передавальну та приймальну антени. Цей особливий відрізок труби має бути вставлений в існуючий трубопровід. До того ж, вставлення засобів щільного сполучення (діафрагм), застосовуваних як передавальні та приймальні антени, є також дуже трудомістким і дорогим.

Задача винаходу полягає в створенні способу визначення кількості твердого або рідкого матеріалу у газоподібному середовищі, що транспортується у двофазному потоці, який може застосовуватися також при дуже низькій концентрації або дуже низьких коливаннях концентрації вугілля і який водночас не вимагає великих змін в існуючій системі трубопроводів. Таким чином, задача полягає у розробці способу, який забезпечує мінімальну роздільну здатність в 1 грами матеріалу на м<sup>3</sup> середовища-носія і який водночас не вимагає дуже суворого дотримання технічних вимог до геометричної форми вимірюваного шляху труби.

Згідно з винаходом, цього досягають за допомогою способу, описаного в першому пункті формули винаходу, тоді як подальші пункти описують переваги застосування винаходу. Винахід використовує відомий фізичний взаємозв'язок між частотою та затуханням змінного електричного поля уздовж постійного шляху хвилеводу нижче граничної частоти поширення хвилі, на якому затухання

знижується на лінійній перехідній ділянці від низьких частот та високого рівня затухання до більш високих частот та низького рівня затухання. Ця перехідна ділянка між високим рівнем затухання та низьким рівнем затухання нижче граничної частоти має постійну конфігурацію, яка не зазнає суттєвого впливу змін діелектричної проникності, спричинених, наприклад, твердим або рідким матеріалом, що додається до транспортованого газу навіть при відносно високих концентраціях твердого або рідкого матеріалу. Однак ця частина перехідної ділянки кривої зсувається у бік зниження частот, щойно твердий або рідкий матеріал потрапляє у вимірюваний шлях, і ступінь зсуву частоти може служити мірою концентрації твердого або рідкого матеріалу у газі-носії.

Задача винаходу полягає у внесенні електричного змінного поля через передавальну антену та визначенні величини цього змінного електричного поля нижче та вище уздовж фіксованого вимірюваного шляху, коли дані перехідної кривої спочатку записують при порожній трубі, а потім визначають зсув частоти для розрахунку кількості твердого або рідкого матеріалу, присутнього у газі-носії, використовуючи відомий взаємозв'язок між навантаженням маси та діелектричною проникністю, а також зсувом частоти. Для цього визначають лінійну частину перехідної кривої, яка обмежується верхнім значенням затухання з відповідною нижньою частотою та нижнім значенням затухання з відповідною верхньою частотою. Застосовуючи приймач, що працює у реальному масштабі часу, з обмеженим співвідношенням сигнал-шум, можна знайти точку перегину у межах перехідної кривої, яка може бути легко визначена шляхом диференціювання кривої. У межах цієї майже лінійної частини кривої будь-яка зміна частоти веде до значної зміни затухання. Отже, точки вимірювання, а також діапазони вимірювання у межах цієї лінійної частини перехідної кривої можуть бути визначені з високою точністю.

Є кілька шляхів застосування винаходу. Один шлях полягає у визначенні характерного значення затухання з відповідною частотою у межах лінійної частини перехідної кривої, коли труба є порожньою. Для визначення кількості матеріалу у трубі частоту поступово збільшують з низької початкової частоти, доки вимірюване затухання не досягне опорної величини, визначеної для порожньої труби. Початкову частоту вибирають меншою або рівною найнижчій частоті, до якої може бути зсунута лінійна частина перехідної кривої у конкретному випадку застосування. Цю початкову частоту визначають шляхом віднімання від нижньої частоти майже лінійної частини перехідної кривої максимально можливої  $\Delta f$  при типовому максимальному рівні концентрації у даному разі. Цей зсув частоти  $\Delta f$  розраховують за допомогою такого рівняння

$$\Delta f = f_0(1 - 1/\sqrt{\mu_r \epsilon_r})$$

де  $f_0$  є опорною частотою порожньої труби або каналу,  $\mu_r$  є відносною магнітною проникністю, а  $\epsilon_r$  є відносною діелектричною проникністю суміші газоподібного середовища-носія та даної кількості твердого та/або рідкого матеріалу. Різниця у частоті між характерним значенням затухання для порожньої труби порівняно з завантаженою трубою є у даному разі мірою концентрації твердого

та рідкого матеріалу у трубі

Можна легко зрозуміти, що для максимальної чутливості краще вибрати опорну точку у найкрутішій частині перехідної кривої, тобто у межах майже лінійної частини перехідної кривої, для якої точка відбиття є точкою стійкості кривої

Для прискорення алгоритму вимірювання краще вибрати постійний розмір кроку і збільшувати частоту ступінчасте й інтерполювати точки затухання між окремими кроками, доки не буде знайдено опорну точку. Різниця (зсув) частот між опорною точкою затухання порожньої труби та опорною точкою затухання завантаженої труби є, як було згадано вище, мірою концентрації твердого або рідкого матеріалу у трубі

Звичайно, можливо також описати опорну точку, застосовуючи дві окремі точки вимірювання у межах майже лінійного відрізка перехідної кривої й розрахувати  $\Delta f$  завантаженої труби, застосовуючи інше характерне значення затухання, виміряне у завантаженої труби

Важливу перевагу описаного способу видно з того факту, що вимірюваний шлях, на якому це вимірювання відбувається, не підлягає чітким геометричним обмеженням, скажімо, щодо округлості труби або точності її конфігурації. Вимірювання може, наприклад, відбуватися у звичайній сталевій трубі, виготовленій у межах стандарту DIN. Чутливість способу вимірювання навіть у цих стандартних трубах є відмінною й вищою, ніж 1 грам матеріалу на м<sup>3</sup> газу-носія

Ще однією перевагою способу є те, що збудження електричних змінних полів здійснюються за допомогою дуже коротких непогоджених антен. Те ж саме стосується й приймальних антен. З ними ніякі зміни у конфігурації та довжині антен через стирання не впливають на вимірювання, а це значною мірою звільняє від необхідності зміни антен через ерозію. До того ж, ці короткі антени можуть бути впроваджені у трубі без будь-яких значних механічних модифікацій. Винайдений спосіб має особливі переваги, коли двофазний потік містить згустки твердого матеріалу або рідкого матеріалу. Для вимірювання цих згустків необхідно ввести дві пари антен, зміщених на азимут 90°, і виміряти перехідну криву та зміну її майже лінійного відрізка, що залежить від частоти, як описано вище

Одним з можливих способів зробити це є вимірювання обох напрямків 0° та 90° переміжне та визначення, як описано вище, зсуву частоти на кожній окремій парі антен (відрегульованих по осі). Можливі згустки призводять до різних зсувів частоти залежно від напрямку вимірювання (0° чи 90°). Через усереднення результатів загальна виміряна концентрація відображає середню концентрацію твердого матеріалу по всій площі перерізу труби

Застосовуючи винайдений спосіб, також можна визначити геометричне положення, а також інтенсивність згустка у межах площини перерізу труби. Для цього збуджують два електричних змінних поля на двох антенах зі зсувом 90°, що мають однакову частоту та спільну фазу. Визначають зсув частоти майже лінійного відрізка перехідних кривих цих змінних електричних полів уздовж вимірюваних шляхів. Збудження та

вимірювання зсуву частоти обох полів здійснюють одночасно. Обидва змінні електричні поля накладаються, утворюючи в результаті змінне електричне поле. Аналогічним чином виникаючий в результаті зсуву частоти майже лінійного відрізка перехідної кривої використовують як міру концентрації для виникаючого в результаті азимутального напрямку виникаючого в результаті змінного електричного поля. Через зміну максимальних амплітуд окремих електричних змінних полів, з'єднаних двома зміщеними на 90° антенами, виникає в результаті змінне електричне поле може повертатися у напрямку азимута. Амплітуду виникаючого в результаті електричного поля краще підтримувати майже незмінною. При проведенні повторних вимірювань з різними азимутальними орієнтаціями виникає в результаті змінне поле показує максимальний та мінімальний зсув частоти майже лінійного відрізка перехідної кривої. За наявності згустка максимальний та мінімальний зсуви частоти мають бути зміщені на 90° в азимутальній орієнтації. Застосовуючи азимут мінімуму та максимуму, визначають азимутальну позицію згустка. В результаті отримують два можливих кути, оскільки електричне змінне поле є симетричним і допускає дві інтерпретації максимальної та мінімальної позиції

Це означає, що орієнтація азимута змінного електричного поля при максимальному зсуві частоти може мати такі рішення

$$\alpha_{st} = \alpha_F + n180^\circ$$

де  $\alpha_{st}$  - азимут згустка, а  $\alpha_F$  - азимут електричного змінного поля, і  $n$  являє собою натуральне число. Це означає, що виявлений згусток неоднозначно є присутнім у двох протилежних квадрантах площини перерізу

Співвідношення частоти  $\Delta f$  у мінімумі та максимумі може бути застосоване для визначення співвідношення мінімальної та максимальної напруженості електричного поля, дії якого піддається згусток. Застосовуючи відомий розподіл напруженості електричного змінного поля у перерізі труби, визначають радіальну позицію згустка

Для виключення однієї з двох можливих азимутальних позицій згустка має бути здійснений ще один етап вимірювання з метою визначення, чи є згусток присутнім у верхній або у нижній половині площі перерізу. Згідно з винаходом, це здійснюють шляхом визначення змінного струму, індукованого в обох приймальних антенах, зміщених на 90° за азимутом. Якщо визначають позицію передавальної антени в азимутальній орієнтації 0°, то у цьому разі у позиції 180° за азимутом електричне змінне поле має таку саму напруженість, але протилежну полярність. У позиції 90°, оскільки площа перерізу завантажена рівномірно, електрична напруженість поля, а отже, й індукований змінний струм в антені у цьому місці дорівнює 0°. Коли згусток з'являється на половині площини перерізу, у якому розміщено передавальну антену, електричне змінне поле стає викривленим таким чином, що зміщена на 90° приймальна антена приймає електричну напруженість поля протилежної полярності. Це поле індукує електричний струм, який має протилежну фазу (180°) порівняно зі змінним струмом, підведеним до передавальної антени. Якщо згус-

ток перебуває на половині площини перерізу труби, протилежній передавальній антені, приймальна антена має змінний струм тієї ж самої фази, що й передавальна антена. Рекомендується поміняти передавальну й приймальну функції антен. Завдяки цьому, можна виявити згустки, які перебувають поблизу приймальної або передавальної антен.

Винахід також дозволяє здійснювати вимірювання швидкості транспортування матеріалу. Для цього зміни густини, що відбуваються з часом у транспортованому матеріалі через турбулентність струменя, записують на двох аксіальних зміщених вимірюваних шляхах уздовж труби і розраховують зсув часу кривих густини, застосовуючи кореляційний фільтр. Виходячи з цього зсуву часу, а також аксіальної відстані двох вимірюваних шляхів, розраховують швидкість транспортування матеріалу. Виходячи з середньої концентрації, а також швидкості транспортування, розраховують масову витрату.

Винайдений спосіб описано згідно з нижчеподаним варіантом виконання. На фігурах, що додаються, показано:

Фігура 1. Частина труби пальника у пилувугільній енергетичній установці.

Фігура 2. Крива, що показує взаємозв'язок затухання як функції частоти на площині крутої перехідної ділянки між високим рівнем затухання та низьким рівнем затухання.

Фігура 3. Виникає в результаті електричне змінне поле, якщо згусток присутній у межах площі перерізу труби пальника (азимут  $0^\circ$ ).

Фігура 4. Виникає в результаті змінне електричне поле, якщо згусток присутній у межах площі перерізу труби пальника (азимут  $90^\circ$ ).

Задача полягає у вимірюванні у межах труби пилувугільної енергетичної установки (труби, що має круглий переріз і діаметр 500мм) кількості вугільного пилу у транспортованій суміші, а також у виявленні згустків у межах площі перерізу труби. Передбачається, що температура труби 1 є незмінною у часі. Спочатку у трубі в осьовому напрямку просвердлюють два отвори, відрегульовані по осі на аксіальній відстані у 1000мм. У кожному з отворів (50мм) закріплюють коротку непогоджену антену. Антени можуть бути закріплені у звичайному коаксіальному з'єднувальному проводі (хвилеводі). Краще використовувати короткі непогоджені антени, оскільки вони менше піддаються механічному зношенню, викликаному частинками вугілля. До того ж, будь-яке механічне зношення впливає на електричні якості антени лише дуже незначною мірою. Першу відносно напрямку протікання вугільної суміші антену (2) застосовують як передавач, а другу (3) - як приймальну антену. Для уникнення будь-яких гармонічних хвиль, які можуть поширюватися через хвилевід, кожену антену оснащено фільтром нижніх частот з різким порогом обмеження, частота відсічки якого дещо перевищує частоту відсічки хвилеводу (1).

Для визначення параметрів вимірюваного шляху спочатку фіксують затухання електричного змінного поля як функцію частоти у порожній трубі. Для цього електричне змінне поле індукують у передавальній антені (2) і вносять у хвилевід (1), і передачу цього змінного поля на приймальну ан-

тену (3) фіксують як функцію частоти. Може бути описана типова крива, як описано на фігурі № 2, у якій затухання різко падає у діапазоні 1,3МГц, і перехідна ділянка частини кривої є майже лінійною. Після цього запису визначають майже лінійний відрізок перехідної кривої між верхнім та нижнім значеннями затухання. Верхнє значення затухання становить близько 45дБ при нижній граничній частоті у 348,5МГц, а нижнє значення затухання - близько 20дБ при верхній граничній частоті приблизно 349,8МГц. У межах цієї нормованої області значень може бути визначена точка перегину при частоті близько 349,3МГц з відповідним значенням затухання приблизно 32дБ.

У межах майже лінійного діапазону перехідної кривої градієнт є найкрутшим, а це означає, що незначні зміни діелектричного навантаження труби при незмінній частоті вимірювання спричиняють значні зміни затухання. Абсолютні значення верхнього та нижнього порогів затухання запечать від величини електричного змінного поля, а також чутливості приймача. На фігурі № 2 нижня частота  $f_0$ , нижче якої поширення хвиль не відбувається, може мати значення близько 350МГц. Цю частоту також називають частотою відсічки.

У даній заявці показано максимальне навантаження труби у 1500г дрібних частинок вугілля на  $m^3$  газу-носія. Виникає в результаті діелектрична проникність для цієї вугільно-газової суміші  $\epsilon_r$  становить 1,003. Відносна магнітна проникність  $\mu_r$  становить близько 1. Застосовуючи залежність  $\Delta f = f_0(1 - 1/\sqrt{\mu_r \epsilon_r})$ , розраховують відповідну  $\Delta f$  для 123 кГц. Для визначення кількості

вугільного пилу у газі через передавальну антену 2 збуджують електричне змінне поле з початковою частотою близько 347,9МГц (що відображає верхнє значення затухання порожньої труби, знижене на розраховану  $\Delta f$ ) і через приймальну антену № 3 визначають затухання поля уздовж вимірюваного шляху. Затухання спочатку перевищує затухання відповідної майже лінійної нормованої області значень. Частота електричного змінного поля збільшується поступово, доки відповідні значення затухання не будуть у межах лінійної нормованої області значень. Цю криву зображено на фігурі № 2 пунктирною лінією, що показує вимірювані значення затухання у завантаженому стані труби. На частоті 348,2МГц електричного змінного поля вимірюють значення затухання при завантаженій трубі 44дБ. Це завантажене значення затухання лежить у межах майже лінійної нормованої області значень. При порожній трубі це значенням затухання досягає 348,6МГц. Це означає, що майже лінійна область значень кривої затухання у завантаженому стані є зсунутою на 0,4МГц порівняно з незавантаженою (або порожньою) трубою. Застосовуючи залежність  $\Delta f = f_0(1 - 1/\sqrt{\mu_r \epsilon_r})$ , цей зсув частоти  $\Delta f$  майже лінійної області значень використовують для розрахунку зміни у відносній діелектричній проникності  $\epsilon_r$  вугільно-газової суміші, а отже, й розраховують концентрацію вугілля у газі-носії. Відносна магнітна проникність  $\mu_r$  у цьому разі приблизно дорівнює 1. У наведеному прикладі було розраховано концентрацію вугілля 0,16г на  $m^3$  газу. Для збільшення чутливості способу рекомендується визначити точку перегину у межах

лінійного відрізка кривої і змінювати частоту для визначення кількості вугілля у газі, доки значення згустка не дорівнюватиме за значенням точки перегину. Перевага цього полягає у тому, що точка перегину є точкою найбільшого радіанта у межах лінійного відрізка перехідної кривої.

Для прискорення вимірювання краще збільшувати частоту, починаючи з найнижчого значення частоти для повністю завантаженої труби через різницю між верхнім та нижнім порогами значення (у даному прикладі 1,3МГц). Це гарантує, що точку вимірювання буде досягнуто з мінімальною кількістю вимірювань для отримання значення згустка, яке лежить у межах лінійної ділянки перехідної кривої. Застосовуючи цю знайдену точку вимірювання, або безпосередньо розраховують зсув частоти майже лінійної частини перехідної кривої, або розраховують точку перегину, застосовуючи лінійне рівняння для визначення  $\Delta f$  між завантаженим та незавантаженим станами труби.

Для виявлення сепарації у трубі необхідно закріпити ще дві антени 3 та 4 у вимірюваному відрітку труби пальника 1. Ці антени (2 та 3) є зміщеними на азимут  $90^\circ$  і відрегульовані по осі у напрямку одна одної. Для визначення типового завантаження, створеного згустком, визначають діелектричне навантаження труби, застосовуючи передавальну та приймальну антени 2, 3 та 4, 5, як описано вище, і вимірюють масову витрату через усереднення значень двох напрямків. Таким чином враховують присутній згусток і належним чином вимірюють. Шляхом багаторазового усереднення цього циклу досягають більшої точності середнього значення, яке відображатиме фактичну масову витрату у трубі. Рекомендується повторювати цикл, доки загальне ціле значення не перестане зазнавати значних змін через додавання подальших циклів вимірювання.

Для виявлення згустків на антенах 2 та 4 збуджують два електричні змінні поля. Електричні поля повинні мати однакову частоту та спільну фазу. Ці два поля накладаються у трубі пальника 1 для виникнення в результаті електричного змінного поля. Застосовуючи антени 3 та 5, вимірюють передачу електричних змінних полів однакової частоти та спільної фази і визначають згусток виникаючого в результаті електричного змінного поля уздовж вимірюваного шляху. Шляхом зміни амплітуди змінних електричних полів, що мають однакову частоту та спільну фазу, напрямком накладених електричних полів, що мають зміщення відносно одне одного на  $90^\circ$ , може бути повернутий в азимутальній орієнтації на максимальний кут  $90^\circ$ . Шляхом обернення фази одного з електричних змінних полів на один з антен кут повертання виникаючого в результаті змінного електричного поля може бути збільшений до  $180^\circ$ . У наведеному прикладі електричне змінне поле збуджується у межах труби пальника 1, що має діаметр 500мм, антенами 2 та 4 з затуханням  $+20\text{дБ/м}$  (це дорівнює потужності передачі приблизно 100мВт). Для

досягнення азимутального повертання виникаючого в результаті поля ступінчасто, з кроком  $22,5^\circ$ , шляхом накладання двох електричних полів, зміщених на  $90^\circ$ , коаксіальні лінії, що живлять окремі активні антени, повинні мати затухання згідно з нижчеподаною таблицею.

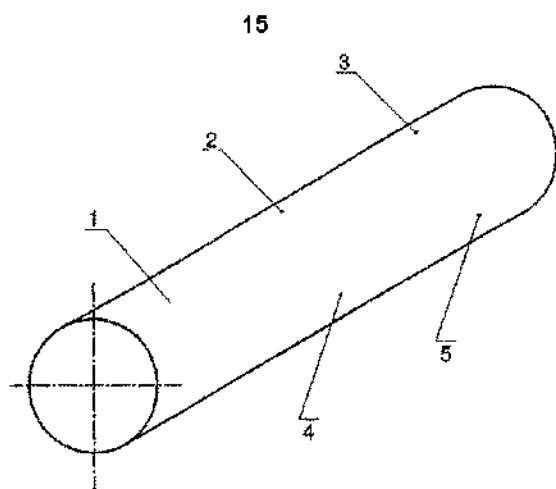
Азимутальний напрямок	Антенна 2	Антенна 4
$0^\circ$	0дБ	-50дБ
$22,5^\circ$	-1дБ	-9дБ
$45^\circ$	-3дБ	-3дБ
$67,5^\circ$	-9дБ	-1дБ
$90^\circ$	-50дБ	0дБ
$112,5^\circ$	-9дБ (обернена фаза, $180^\circ$ )	-1дБ
$135^\circ$	-3дБ (обернена фаза, $180^\circ$ )	-3дБ
$157,5^\circ$	-1дБ (обернена фаза, $180^\circ$ )	-9дБ

У кожному азимутальному напрямку концентрацію вугільного пилу у газі-носії здійснюють в електричних змінних полях для визначення зсуву частоти лінійної частини перехідної кривої, як було описано вище. Відповідні зсуви частот показано на нижчеподаній таблиці.

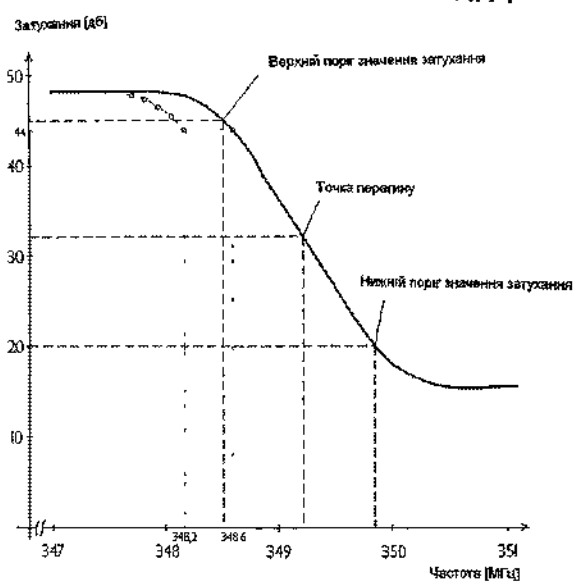
Азимутальний напрямок	Зсув частоти
$0^\circ$	125кГц
$22,5^\circ$	177кГц
$45^\circ$	200кГц
$67,5^\circ$	266кГц
$90^\circ$	376кГц
$112,5^\circ$	260кГц
$135^\circ$	192кГц
$157,5^\circ$	160кГц

Максимальний зсув частоти спостерігається при  $90^\circ$ . Це означає наявність при  $90^\circ$  за азимутом згустка у площі перерізу труби. Фігури 3 та 4 показують виникаюче в результаті електричного змінного поля у межах площини перерізу труби пальника 1 в азимутальному напрямку  $0^\circ$  (фігура 3) та азимутальному напрямку  $90^\circ$  (фігура 4). Виходячи зі співвідношення максимального зсуву частоти (максимальної концентрації вугілля) з мінімальним зсувом частоти (мінімальною концентрацією вугілля), визначають радіальну позицію згустка. У цьому разі співвідношення становить 1 : 3, а отже, згусток перебуває неподалік від стінки труби. Чим ближче це співвідношення до 1, тим ближче згусток має бути до центру перерізу труби. Згусток, який перебуває у центрі перерізу труби, не може бути виявлений.

Виявлення згустка має сенс лише тоді, якщо згусток не змінює свого положення у межах площини перерізу труби і є більш або менш стійким. Передбачається, що у реальному масштабі часу вимірювання у кілька мілісекунд можна отримати реальну картину для конкретного випадку. Зазвичай задача виявлення згустка полягає у знищенні згустка нижче точки вимірювання. Таким чином, інтерес являють лише квазістаціонарні згустки.

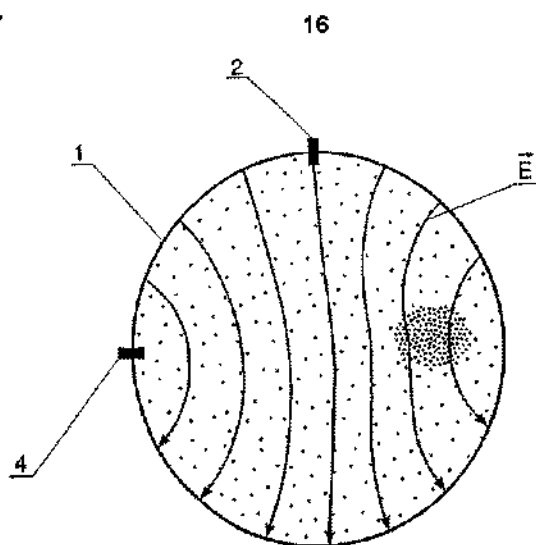


ФІГ. 1

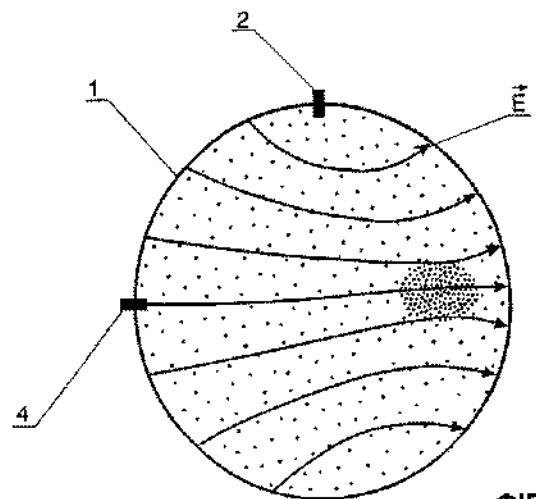


ФІГ. 2

51797



ФІГ. 3



ФІГ. 4

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

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