



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **87998** (13) **C2**
(51) МПК (2009)
G01N 21/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СИСТЕМА І СПОСІБ ДИСТАНЦІЙНОГО КІЛЬКІСНОГО ВИЯВЛЕННЯ ВИТОКІВ ФЛЮЇДУ В ТРУБОПРОВОДІ ПРИРОДНОГО ГАЗУ АБО НАФТИ

1

2

(21) a200608087
(22) 17.12.2004
(24) 10.09.2009
(86) PCT/US2004/042485, 17.12.2004
(31) 10/740,879
(32) 19.12.2003
(33) US
(46) 10.09.2009, Бюл.№ 17, 2009 р.
(72) КАЛАЙЄХ ХУШМАН М., US, ПАЗ-ПУДЖАЛТ ГУСТАВО Р., US, СПУНХАУЕР ДЖОН П., US
(73) АЙ ТІ ТІ МЕНЬЮФЕКЧУРІНГ ЕНТЕРПРАЙЗІЗ, ІНК., US
(56) UA 31895 C2, 15.01.2001
UA 47461 C2, 15.07.2002
EP 0489546 A2, 10.06.1992
US 6509566 B1, 21.01.2003
US 4489239 A, 18.12.1984
US 4450356 A, 22.05.1984
UA 46817 C2, 17.06.2002
US 4870275 A, 26.09.1989
(57) 1. Система для дистанційного виявлення витоків флюїду в трубопроводі природного газу або нафти з використанням бортової платформи, що містить:
а) щонайменше два безперервно перестроюваних лазерних джерела світла для опромінення, по суті, області цілі з двох або більше цільових флюїдів і підстильної поверхні, причому два або більше цільових флюїдів поглинають дві або більше довжини хвилі поглинання увімкненої лінії і не поглинають довжину хвилі поглинання вимкненої лінії;
б) засіб для генерації й зміни для кожного з джерел світла вибраної довжини хвилі, що відповідає кожному з одного або більше цільових флюїдів і підстильної поверхні;
с) засіб наведення лазерних джерел світла на основі системи позиціонування;
д) засіб для сканування геометричної області вздовж траєкторії польоту з використанням лазерних джерел світла;
е) засіб для виявлення двох або більше цільових флюїдів з використанням обробки сигналу;
ф) засіб для розробки траєкторії польоту й визначення траєкторії польоту для позиціонування бортової платформи; і

г) засіб для оповіщення про наявність виявленого витoku в трубопроводі природного газу або нафти;
і
засіб для вимірювання довжини шляху концентрації двох або більше цільових флюїдів з використанням відношення між (1) відбитим сигналом на довжині хвилі поглинання відключеної лінії і (2) відбитим сигналом на довжині хвилі поглинання включеної лінії.
2. Система за п.1, в якій два або більше цільових флюїдів є вуглеводневими газами.
3. Система за п.2, в якій вуглеводневими газами є один з метану, етану або сукупності метану і етану.
4. Спосіб дистанційного виявлення витоків флюїду в трубопроводі природного газу або нафти з використанням бортової платформи, що включає:
а) опромінення області цілі з двох або більше цільових флюїдів і підстильної поверхні щонайменше двома безперервно перестроюваними лазерними джерелами світла, причому два або більше цільових флюїдів поглинають дві або більше довжини хвилі поглинання включеної лінії і не поглинають довжини хвилі поглинання відключеної лінії;
б) генерацію й зміну для кожного з джерел світла вибраної довжини хвилі, що відповідає двом або більше цільовим флюїдам;
с) наведення джерел світла на основі системи позиціонування;
д) сканування геометричної області вздовж траєкторії польоту з використанням джерел світла;
е) виявлення двох або більше цільових флюїдів з використанням кількісної обробки сигналу;
ф) позиціонування бортової платформи з використанням засобу розробки траєкторії польоту й визначення траєкторії польоту;
г) оповіщення про наявність виявленого витoku в трубопроводі природного газу або нафти, і
h) вимірювання довжини шляху концентрації двох або більше цільових флюїдів з використанням відношення між (1) відбитим сигналом на довжині хвилі поглинання відключеної лінії і (2) відбитим сигналом на довжині хвилі поглинання включеної лінії.
5. Спосіб за п.4, в якому два або більше цільових флюїдів є вуглеводневими газами.

(13) **C2**
(11) **87998**
(19) **UA**

6. Спосіб за п.5, в якому вуглеводневими газами є один з метану, етану або сукупності метану і етану.

7. Система для дистанційного виявлення витоків флюїду в трубопроводі природного газу або нафти з використанням бортової платформи, що містить:

а) два або більше безперервно перестроюваних лазерних джерела світла для одночасного опромінення області цілі з двох або більше цільових флюїдів і підстильної поверхні;

б) засіб для вибору двох або більше довжин хвиль, що відповідають хвилям поглинання двох або більше цільових флюїдів, причому підстильна поверхня має довжину хвилі поглинання відключеної лінії, якій відповідає довжина хвилі, що відрізняється від довжини хвилі для кожного з двох або більше цільових флюїдів;

в) засіб для генерації й зміни для кожного з джерел світла вибраної довжини хвилі, що відповідає двом або більше цільовим флюїдам;

г) засіб для наведення джерел світла на основі системи позиціонування;

д) засіб для сканування геометричної області вздовж траєкторії польоту з використанням джерел світла;

е) засіб для виявлення сигналу й вимірювання характеристик двох або більше цільових флюїдів;

ж) засіб для обробки сигналу для дистанційної кількісної обробки двох або більше цільових флюїдів;

з) засіб для розробки траєкторії польоту й визначення траєкторії польоту для позиціонування бортової платформи;

и) засіб для оповіщення про наявність виявленого витoku в трубопроводі природного газу або нафти, і

й) засіб для вимірювання довжини шляху концентрації двох або більше цільових флюїдів з використанням відношення між (1) відбитим сигналом на довжині хвилі поглинання відключеної лінії і (2) відбитим сигналом на довжині хвилі поглинання включеної лінії.

8. Система за п.7, що містить контролер для окремого керування інтенсивністю кожного із джерел світла.

9. Система за п.7, в якій два або більше цільових флюїдів є вуглеводневими газами.

10. Система за п.9, в якій вуглеводневими газами є один з метану, етану або сукупності метану і етану.

11. Система для дистанційного кількісного виявлення в реальному часі флюїдів із використанням бортової платформи, що містить:

а) щонайменше два безперервно перестроюваних лазерних джерела світла для майже одночасного освітлення тієї ж самої області цілі з двох або більше цільових флюїдів і підстильної поверхні, причому два або більше цільових флюїдів характеризуються двома або більше довжинами хвиль поглинання включеної лінії, а підстильна поверхня має довжину хвилі поглинання відключеної лінії, якій відповідає довжина хвилі, що відрізняється від довжини хвилі кожного з двох або більше цільових флюїдів;

б) засіб для генерації і динамічної зміни в реальному часі для кожного з джерел світла вибраної довжини хвилі, що відповідає двом або більше цільовим флюїдам у діапазоні довжин хвиль;

в) засіб для позиціонування джерел світла на основі системи позиціонування;

г) засіб для сканування двох або більше цільових флюїдів у геометричній області вздовж траєкторії польоту з використанням джерел світла;

д) засіб для виявлення сигналу в реальному часі, що забезпечує кількісну обробку виявлення двох або більше цільових флюїдів;

е) засіб обробки сигналу в реальному часі для дистанційної кількісної обробки виявлення двох або більше цільових флюїдів;

ж) засіб для розробки траєкторії польоту і визначення траєкторії польоту для позиціонування бортової платформи;

з) засіб для оповіщення про наявність виявлених флюїдів, і

и) засіб для вимірювання довжини шляху концентрації двох або більше цільових флюїдів з використанням відношення між (1) відбитим сигналом на довжині хвилі поглинання відключеної лінії і (2) відбитим сигналом на довжині хвилі поглинання включеної лінії.

12. Система за п.11, виконана з можливістю настроювання для виявлення вуглеводневих газів.

13. Спосіб дистанційного кількісного виявлення флюїдів із використанням бортової платформи, що включає:

а) по суті одночасне освітлення однієї і тієї ж області цілі з двох або більше цільових флюїдів і підстильної поверхні щонайменше двома безперервно перестроюваними лазерними джерелами світла, причому два або більше цільових флюїдів характеризуються двома або більше довжинами хвиль поглинання, причому підстильна поверхня має довжину хвилі поглинання відключеної лінії, якій відповідає довжина хвилі, що відрізняється від довжини хвилі кожного з двох або більше цільових флюїдів;

б) наведення джерел світла відносно системи позиціонування;

в) сканування для виявлення двох або більше цільових флюїдів у геометричній області вздовж траєкторії польоту з використанням джерел світла;

г) виявлення двох або більше цільових флюїдів у реальному часі з використанням кількісної обробки сигналу в реальному часі;

д) генерацію і динамічну зміну в реальному часі для кожного з джерел світла вибраної довжини хвилі, що відповідає двом або більше цільовим флюїдам у діапазоні довжин хвиль;

е) позиціонування бортової платформи з використанням засобу розробки траєкторії польоту і визначення траєкторії польоту;

ж) оповіщення про наявність виявленого флюїду, і

и) вимірювання довжини шляху концентрації двох або більше цільових флюїдів з використанням відношення між (1) відбитим сигналом на довжині хвилі поглинання відключеної лінії і (2) відбитим сигналом на довжині хвилі поглинання включеної лінії.

14. Спосіб за п.13, що додатково містить етап на-строювання джерела опромінення для виявлення вуглеводневих газів.

15. Спосіб дистанційного кількісного виявлення флюїдів із використанням бортової платформи, що включає:

- а) по суті одночасне опромінення однієї і тієї ж області цілі з двох або більше цільових флюїдів і підстильної поверхні щонайменше двома безперервно перестроюваними лазерними джерелами світла як джерелами опромінення, причому два або більше цільових флюїдів характеризуються двома або більше довжинами хвиль поглинання включеної лінії, причому підстильна поверхня має довжину хвилі поглинання відключеної лінії, якій відповідає довжина хвилі, що відрізняється від довжини хвилі кожного з двох або більше цільових флюїдів;
- б) наведення джерел світла щодо системи позиціонування;
- с) сканування для виявлення двох або більше цільових флюїдів у геометричній області вздовж траєкторії польоту з використанням джерел світла;

д) прийом податкової інформації про ціль від дже-рела;

е) виявлення двох або більше цільових флюїдів у реальному часі з використанням кількісної обробки сигналу в реальному часі;

ф) генерацію і динамічну зміну в реальному часі для кожного з джерел світла, на основі додаткової інформації про ціль, вибраної довжини хвилі, що відповідає двом або більше цільовим флюїдам у діапазоні довжин хвиль;

г) позиціонування бортової платформи з викорис-танням засобу розробки траєкторії польоту і ви-значення траєкторії польоту;

h) оповіщення про наявність виявленого флюїду, і вимірювання довжини шляху концентрації двох або більше цільових флюїдів з використанням від-ношення між (1) відбитим сигналом на довжині хвилі поглинання відключеної лінії і (2) відбитим сигналом на довжині хвилі поглинання включеної лінії.

Винахід стосується у цілому галузі спектроско-пічного аналізу. Більш конкретно, винахід стосу-ється спектроскопічного аналізу витоків флюїдів із трубопроводів природного газу і нафти з викорис-танням лазерного диференціального поглинання.

Ведення спостереження за топографією ділян-ки добре відоме в техніці. При спостереженні за ділянкою дуже бажано виявляти, чи не сталося істотне пошкодження на об'єкті штучного похо-дження, такому як дорога, трубопровід, електро-мережа, або іншій штучній споруді практичної ва-жливості. При виявленні пошкодження конструкції належні повноважні органи ухвалюють рішення про необхідність відновних заходів. Для цього ви-користовується наземна бригада, що багато разів проводить візуальну перевірку топографії ділянки, пересуваючись по району на транспортному засобі або пішки, щоб виявити, чи є істотне пошкожден-ня. Також із цією метою літаки або супутники ви-користовують пристрій зйомки зображень, напри-клад, на пристрої із зарядовим зв'язком (ПЗЗ), комплементарному метал-оксидному напівпровід-никовому (КМОН) пристрої, або детектор випромі-нювання, такий, як чутливий інфрачервоний при-ймач. Добре відомо, що бортові системи фотозйомки також можуть використовуватися для зйомки зображень суміжних із ділянкою областей.

При взаємодії електромагнітного випроміню-вання з речовиною можуть відбуватися деякі яви-ща, такі як розсіювання, поглинання, пропускання і відбиття електромагнітного випромінювання. Спе-ктральний або спектроскопічний аналіз включає в себе ретельне дослідження, аналіз і представлення взаємодій електромагнітного випромінювання з речовиною, упорядкованим чином, як функції дов-жини хвилі, частоти або часу. У ході спектроскопі-чного аналізу різні матеріали проявляють різні

властивості розсіювання, поглинання, відбиття і пропускання. Ці характерні властивості визнача-ються хімічною і фізичною структурою речовин. Якщо сукупність цих характерних властивостей визначається із заданим рівнем достовірності так, як при використанні відомих тестових об'єктів, то ці спектроскопічні результати можуть визначатися як еталонні спектральні сигнатури або еталонні спектри.

Природний газ, типово, містить суміш метану, етану і малі кількості інших газів. Газ, що утворю-ється при розкладанні органічної речовини, який називається далі болотним газом, містить тільки метан. Дуже бажано, щоб будь-який спосіб вияв-лення природного газу дозволяв проводити різни-цю між газами, що виділяються внаслідок пошко-дження трубопроводу або ємності для зберігання, і болотними газами, що виділяються і, тим самим, уникати фіктивних тривог.

У нафтопроводах містяться значні концентра-ції летючих розчинених газових сполук, що вклю-чають у себе метан, етан і пропан. Нафтопроводи працюють під тиском; у результаті витоків і супут-нього падіння тиску летючі компоненти звільнюю-ться, що дозволяє виявляти витoki. Електромагнітне випромінювання може спрямовуватися на об'єкт дослідження будь-яким із безлічі засобів. Звичай-но використовуються лазери, але можуть викорис-товуватися й інші засоби такі, як антени для ви-промінювання електромагнітної енергії радіо і мікрохвильового діапазону. Надалі, при описі еле-ктромагнітного випромінювання, що спрямовуєть-ся на об'єкт дослідження, воно згадується як опромінювач.

При виявленні пошкоджень у трубопроводах газу і нафти існує конкретна проблема, пов'язана з тим, що газопровід або нафтопровід звичайно за-

глиблений нижче від рівня ґрунту. У таких випадках важко здійснити пряму візуальну оцінку будь-яких пошкоджень трубопроводу. Коли пошкодження відбуваються, вони виявляються за допомогою витoku вмісту трубопроводу, причому речовина, що просочується формує характерний слід або сигнал. Звичайно пошкодження в трубопроводах у цей час визначаються шляхом періодичного, пов'язаного з високими витратами огляду трубопроводу обслуговуючим персоналом із застосуванням деяких засобів виявлення слідових кількостей речовини, що виділяється з трубопроводу. Гази можуть зв'язуватися з трубопроводом і мігрувати через ґрунтовий покрив на поверхню, і далі в атмосферу. Отже, атмосфера може контролюватися на присутність газів, що зв'язалися з трубопроводом. Зв'язок газів, виявлених в атмосфері, із витокom у трубопроводі може бути прямим або непрямым. Прикладом прямого зв'язку є виділення конкретних вуглеводневих газів у атмосферу з підповерхневих нафто- і газопроводів. Природний газ складається з двох основних компонентів, метану та етану, із досить постійним кількісним співвідношенням у суміші. Вимірювання обох компонентів і підтвердження відповідного відношення концентрацій прямо встановлює наявність витoku в трубопроводі. У цьому випадку зв'язок - прямий, тому що газові компоненти самі, хоч і в потенційно зміненому складі, виділяються в атмосферу. Подібним чином можуть виявлятися інші летючі компоненти вмісту газоносних трубопроводів, вказуючи на наявність витoku. Метан утворюється при тепловому або біологічному розкладанні вугілля. Газ (метан), що виявляється, не ідентичний природному ресурсу (вугіллю), тому для опису такого зв'язку використовується термін "непрямий". Термін "непрямий зв'язок" не означає, що наукове обґрунтування цього зв'язку не є достатнім. Процес перетворення вугілля в метан добре описаний у науковій літературі.

У разі трубопроводів нафти і нафтопродуктів, виділення деяких летючих компонентів може вказувати на наявність витoku флюїду і, отже, бути непрямим доказом пошкодження трубопроводу. Лазерна абсорбційна спектроскопія (ЛАС) є високочотним засобом для кількісного визначення молекулярних концентрацій у різноманітних ситуаціях, що не піддаються вимірюванням іншими засобами, особливо засобами дистанційного зондування. Основною перевагою ЛАС є те, що експеримент проводиться "in situ" (на місці); це забезпечує можливість швидкого виконання вимірювань із хорошим просторовим розділенням у різних умовах навколишнього середовища. В експериментах із поглинання відношення інтенсивності променя $I(v, x)$, що пройшов, до інтенсивності початкового променя $I_0(v, x=0)$ пов'язане з концентрацією поглиначу згідно із законом Байєра

$$I(v, x)/I_0(v, x=0) = \exp^{-\chi \sigma(v)}$$

де $\sigma(v)$ - молекулярний поперечний переріз на частоті v ; χ - довжина шляху, що пройдений лазером. Для будь-якого даного відношення сигнал/шум при вимірюванні $I(v, x)/I_0(v, x=0)$ чутливість вимірювання може бути збільшена шляхом збільшення довжини шляху. Існує ряд патентів попере-

днього рівня техніки, в яких є розкритим застосування лазерних засобів для виявлення домішок газів у атмосфері. Деякі з цих лазерних систем діють у мікрохвильовому або ультрафіолетовому діапазоні довжин хвиль. Ці лазерні системи відрізняються від заявленого винаходу, який передбачає роботу в середньому інфрачервоному діапазоні довжин хвиль. В описаних нижче патентах лазерні системи також працюють у середньому інфрачервоному діапазоні довжин хвиль при виявленні вуглеводневих газів.

У патенті США №4450356 на ім'я Murray et al., лазерне випромінювання змішаних частот (CO_2)-лазера використовується для дистанційного виявлення газів у атмосфері. Система лазерного випромінювання використовує подвоєння частоти і підсумовування частот у кристалах для генерації довжин хвиль близько трьох мікрометрів. Розкрито засіб для селекції декількох довжин хвиль, але для середнього інфрачервоного діапазону описана доставка тільки двох довжин хвиль до топографічної цілі. CO_2 -лазери не забезпечують можливості безперервного перестроювання, і не містять інтенсивних спектральних ліній, що відповідають довжинам хвиль, які співпадають із прийнятними спектральними лініями для метану та етану. У патенті США №4489239 на ім'я Grant et al. описаний переносний дистанційний лазерний датчик ближньої дії для відстані 25м, призначений для виявлення витоків метану на газопроводах. Система вимагає використання двох гелій-неонових (He-Ne) лазерів. Два лазери працюють на двох різних довжинах хвиль характеристики "вмикання-вимикання" для метану, кожна з яких фіксована. He-Ne лазери звичайно є не перестроюваними і не так ефективні та надійні, як твердотільні лазери. Аналогічно, в опублікованій патентній заявці США 2003/0030001 A1 на ім'я Cooper et al. розкрито використання діодного перестроюваного лазера для виявлення газів у атмосфері. Ця система не дозволяє компенсувати в реальному масштабі часу зміни у відбивальній здатності фоновій області цілі і не може здійснювати вимірювання за багатьма видами газів по суті одночасно, що є принциповою вимогою для систем сканування і дистанційного зондування, призначених для виявлення витоків у трубопроводах. У патенті США №4871916 на ім'я Scott описана лазерна система, яка використовує неодимовий лазер для дистанційного виявлення метану в атмосфері для визначення умов небезпеки, що наближається, або вибухонебезпечних горизонтів у шахтах. У цій системі використовується діапазон довжин хвиль близько 1,318мкм. Ця система тільки забезпечує виявлення метану і не дозволяє компенсувати в реальному масштабі часу зміни у відбивальній здатності фоновій області цілі. У патенті США №5157257, переданому Geiger, описується система DIAL інфрачервоного діапазону. Зазначена система використовує шість різних когерентних променів, що утворені шістьма різними імпульсними лазерами на довжинах хвиль від 2,2 до 2,4 або від 3,1 до 3,5мкм, для виявлення легких вуглеводнів. Шість когерентних променів повністю мультиплексовані за часом і об'єднані в один промінь за допомогою селективної поляри-

зації. Для настройки поляризації використовуються кварцові кристали, які легко пошкоджуються імпульсами лазера з високою енергією випромінювання. До того ж складність цієї системи перешкоджає її використанню в польових умовах, особливо в бортових системах дистанційного зондування. Крім того, ширина лазерного спектра дуже велика для розділення смуг поглинання багатьох основних газів. У патенті США №6509566, переданому Wamsley et al., також описана система DIAL середнього інфрачервоного діапазону, призначена для розвідки родовищ нафти і газу. Ця система містить Cr:LiSAF лазер з водневою коміркою Рамана для генерації довжин хвиль у діапазоні, придатному для виявлення вуглеводнів. Лазер використовує водяне охолодження і є безперервно перестроюваним на одній довжині хвилі. Ця система не дозволяє зручним чином компенсувати в реальному масштабі часу зміни у відбивальній здатності фонові області цілі та одночасно виявляти інші гази. Більш того єдина частота випромінювання лазера прив'язується до зовнішнього вимірника частоти і, отже, схильна до дрейфу, що негативно впливає на електронні компоненти системи.

Береться до уваги, що трубопроводи звичайно переносять нафтопродукти, нафту, природний газ, очищені продукти переробки нафти і газу, розчини, хімічні речовини, рудні шлами мінералів та інші флюїди або текучі речовини або суміші. Згадані вище лазерні системи не забезпечують виявлення, по суті, одночасно багатьох видів газів таких, як метан і етан, які присутні в нафтопроводах природного газу. Вони також не компенсують зміни у відбивальній здатності фонові області цілі. Крім того, лазери, які не є безперервно перестроюваними, не можуть точно розраховуватися для виявлення різних газових речовин. Фіктивні тривоги залишаються проблемою для вищезазначених систем, відомих із попереднього рівня техніки, та їхня чутливість до виявлення безлічі видів газів є сумнівною. Інші газові домішки, які з'являються в атмосфері, можуть також створювати перешкоди виявленню природного газу з використанням цих лазерних систем, відомих із попереднього рівня техніки.

Даний винахід спрямований на подолання однієї або більше проблем, викладених вище, за допомогою створення системи для дистанційного кількісного виявлення витоків флюїду з трубопроводів природного газу або нафти з використанням бортової платформи, яка містить, принаймні, одне лазерне джерело світла для, по суті, одночасного освітлення, по суті, тієї ж самої області цілі з двох і більше цільових флюїдів і підстильної поверхні, при цьому два і більше цільових флюїдів характеризуються двома або більше довжинами хвиль поглинання, причому підстильна поверхня виявляється на іншій довжині хвилі, ніж для будь-якого з двох або більше цільових флюїдів.

Крім того, даний винахід додатково включає в себе засіб для наведення джерела освітлення на основі системи позиціонування; засіб для сканування двох або більш цільових флюїдів у геометричній області вздовж траєкторії руху з використанням джерела освітлення; засіб для виявлення

сигналу, що забезпечує виконання кількісної обробки виявлення двох і більше цільових флюїдів; і засіб для керування роботою системи. Засіб обробки сигналу для дистанційного кількісного виявлення двох і більше витоків цільових флюїдів; і засіб для розробки траєкторії руху і визначення траєкторії руху для позиціонування бортової платформи; а також засіб для повідомлення про наявність виявленого витoku в трубопроводі природного газу або нафти є важливими складовими частинами даного винаходу.

Даний винахід має такі переваги:

- використовується високого технічного рівня одномікронний напівпровідниковий, оптичний параметричний осцилятор і оптичний параметричний підсилювач із діодною накачкою;
- забезпечується достатня ефективність перетворення довжини хвилі;
- забезпечується вимірювання довжини траєкторії зміни концентрації для безлічі цілей, коли тип підстильної поверхні (фон) змінюється;
- забезпечується можливість безперервного перестроювання.

Як показано на кресленнях, компоненти Фіг.1 позначені посилальними позиціями більшими від 100 і меншими від 200, компоненти Фіг.3 позначені посилальними позиціями більшими від 300 і меншими від 400 і т.д.

Фіг.1 - схематичне зображення системи виявлення витoku флюїду в трубопроводі, що використовує DIAL перестроюваний лазер із трьома лініями випромінювання, на борту швидко рухомої бортової платформи відповідно до даного винаходу.

Фіг.3 - структурна схема системи виявлення витoku флюїду в трубопроводі з DIAL перестроюваним лазером із трьома лініями випромінювання відповідно до даного винаходу.

Фіг.4 - наведена для прикладу високорівнева структурна схема системи з DIAL перестроюваним лазером із трьома лініями випромінювання для виявлення витoku флюїду в трубопроводі відповідно до даного винаходу.

Фіг.5 - середньорівнева структурна схема системи виявлення витoku флюїду в трубопроводі з DIAL перестроюваним лазером із трьома лініями випромінювання відповідно до даного винаходу.

Фіг.6 - середньорівнева структурна схема системи виявлення витoku флюїду в трубопроводі з DIAL перестроюваним лазером із трьома лініями випромінювання відповідно до даного винаходу, зі списком компонентів кожної основної підсистеми.

Фіг.7 - структурна схема 1-мікронного оптичного параметричного генератора і підсилювача для генерації вибраної довжини хвилі.

Фіг.8 - структурна схема 1-мікронного оптичного параметричного генератора і підсилювача для генерації однієї з вибраних довжин хвиль трьох ліній випромінювання.

Фіг.9 - структурна схема системи визначення траєкторії польоту відповідно до даного винаходу.

Фіг.10 - структурна схема лазерної системи наведення відповідно до даного винаходу.

Фіг.11 - структурна схема системи виявлення витоку флюїду в трубопроводі з DIAL перестроюваним лазером із трьома лініями випромінювання.

Даний винахід призначений для вимірювання газів, пов'язаних із витоками нафти і газу з трубопроводів. Цей винахід стосується системи виявлення витоку нафти і газу в трубопроводі та способу виявлення газів у атмосфері та в більшій мірі, але не як обмеження, виявлення витоків у трубопроводі на основі методів зондування з використанням лідара диференціального поглинання (DIAL), працюючого в середньому інфрачервоному спектральному діапазоні від 2 до 5мкм. У принципі, можуть забезпечуватися виявлення або розвідка таких флюїдів: газ, ефірна олія, парафінова нафта, неочищена важка нафта, і небезпечні речовини. Концентрації газу наносяться на карту області, і карти аналізуються на предмет аномалій концентрації. Газові аномалії інтерпретуються для оцінки витоку в підземному трубопроводі.

При описі даного винаходу термін "цільові флюїди" використовується для позначення флюїдів, які пов'язані або прямо, або непрямо з витоком у трубопроводі. Під цільовими флюїдами маються на увазі або рідини, або гази. Виміряні атмосферні концентрації цільових флюїдів утворюють основу нового інфраструктурного інструмента оцінки, як описано нижче. Щоб пов'язати цільові флюїди з витоком у трубопроводі, вони повинні мати деякі унікальні властивості. Наприклад, метан утворюється в ряді випадків. Він може попасти в атмосферу внаслідок виділення з родовищ вуглеводнів, виділення з вугільних родовищ, виділення із заболочених територій з активними бактеріями, що продукують метан, виділення з газопроводу з витоками і т.д. Джерела метану, які відрізняються від витоків у трубопроводі, розглядаються як перешкоди навколишнього середовища. Перешкоди навколишнього середовища роблять важким погоджування цільових флюїдів із витоком; і будуть змінюватися за величиною і типом залежно від стандартних геологічних факторів таких, як тип ґрунту, гідрологія, підповерхнева структура і склад, а також залежно від атмосферних умов, погоди і землекористування. Унікальні газові суміші, такі як метан/етан, є корисними цільовими флюїдами для трубопроводів природного газу. Окремі гази або поєднання газів, що мають унікальний зв'язок із витоком у трубопроводі, забезпечують найбільш цінні сигнали, що вказують на наявність витоку.

Даний винахід передбачає використання лідара диференціального поглинання (DIAL), який виконує заміри на траєкторії руху в атмосфері. Розроблений широкий набір засобів виявлення більшості домішок газів у атмосфері. Ці засоби можуть бути поділені на засоби, які виконують заміри повітря в конкретній точці простору, і системи дистанційного зондування такі, як численні супутникові системи або системи надземного базування, які передбачають великомасштабні вимірювання концентрацій газу. Існує багато видів джерел газу, для яких, внаслідок їх унікальних просторових і тимчасових властивостей, не можуть бути одержані точні характеристики з викори-

станням цих засобів. Контроль викидів із таких джерел вимагає використання системи, яка може дистанційно вимірювати найдрібніші концентрації швидко і на великій відстані. Лідари диференціального поглинання (DIAL) далекої дії звичайно задовольняють цим вимогам.

Однією особливістю даного винаходу є використання бортового оптичного датчика перестроюваного лідара диференціального поглинання (DIAL із трьома лініями випромінювання для дистанційного кількісного виявлення витоків у трубопроводі природного газу або нафти. Іншою особливістю даного винаходу є вибір домішок газів, які оптимально характеризують витoki флюїду в трубопроводі. У даному винаході визначаються гази, що викидаються в атмосферу внаслідок витоків у трубопроводах, як газу, так і нафти, при цьому для упевненого виявлення витоків обох типів вибираються метан і етан. Інша особливість даного винаходу полягає в оптимальному виборі молекулярного переходу характеристик оптичного поглинання метану та етану в межах середньої інфрачервоної області електромагнітного спектра. Характеристики поглинання метану та етану аналізуються, і дві розділені довжини хвилі (що також називаються увімкненими лініями) і одна нерозділена довжина хвилі (що також називається вимкненою лінією) для метану, етану і зразка земної поверхні (підстильної поверхні),

відповідно, вибираються для виявлення витоку. Довжини хвиль увімкнених ліній вибираються близько до піка оптичного поглинання цільового газу при мінімальній заважаючій дії інших газів. Довжина хвилі вимкненої лінії вибирається біля крила функції оптичного поглинання цільового газу, при мінімальній заважаючій дії інших газів і високій відбивальній здатності земної поверхні. У даному винаході довжини хвиль увімкнених і вимкненої лінії вибрані такими, що дорівнюють 3369,8, 3389 і 3429нм для етану, метану і фону, відповідно. Зауважимо, що ці конкретні довжини хвиль не використовувалися на попередньому рівні техніки, і, як було згадано раніше, критерієм вибору довжин хвиль увімкнених ліній є те, що в поглинанні, як очікується, виключно домінують метан і етан, а критерієм вибору довжини хвилі вимкненої лінії - те, що в поглинанні, як очікується, не домінують ні метан, ні етан, ні частинки атмосфери.

Інша особливість даного винаходу передбачає використання безперервно перестроюваного лазера. Тому три безперервно перестроюваних ND:YLF лазера були розроблені та реалізовані для виявлення домішок метану та етану і підстильної поверхні, відповідно. Даний винахід також вимірює довжини шляхів зміни концентрації цільових газів. Тому система із перестроюваним DIAL лазером із трьома лініями випромінювання, відповідно до даного винаходу, вимірює довжини шляхів концентрації двох вибраних цільових газів для кожної плями, що сканується. Даний винахід використовує статистичний аналіз багатьох результатів вимірювань довжини шляху концентрації для двох цільових газів уздовж траєкторії польоту. На закінчення, даний винахід передбачає виведення на екран, збереження і передачу даних про поло-

ження, розміри і форму газових викидів, пов'язаних із витоками в трубопроводі.

Згідно з даним винаходом, як схематично показано на Фіг.1, використовуються літальний апарат 110 і бортова система 120 виявлення витоків флюїду в трубопроводі з перестроюваним лідаром диференціального поглинання (DIAL) із трьома лініями випромінювання. Також показані посланий лазерний промінь 130, газові домішки 150, підземний трубопровід 160, область 170 витоку, приклад 180 земної поверхні, тривимірний зріз ділянки 190 з трубопроводом, областю 170 витоку і газовими домішками, висота 140 польоту літального апарата (~500м), а також вільна область 105 доступу до трубопроводу. Літальний апарат 110 летить відповідно до попередньо визначеної оптимальної траєкторії польоту в напрямку підземного трубопроводу 160, із метою виявлення області 170 витоку, що містить виток в газо- або нафтопроводі. Під час польоту бортова система позиціонування, що включає в себе систему GPS (Глобальна система визначення місцеположення) і IMU (блок інерціальних вимірювань) (не показані) забезпечує наведення літального апарата до місцеположення цілі, де має місце виділення газових домішок 150. Коли літальний апарат досягає місцеположення цілі, лазерне випромінювання 130 автоматично спрямовується на ціль, а система сканування сканує простір навколо центра цілі. Потім відбите світло аналізується, щоб побудувати двовимірні відбиття виявлених газів або зображення викидів метану та етану в одиницях довжини шляху і концентрації.

У системі вимірювань на основі лідара DIAL випромінюються два лазерних імпульси, по суті на одній довжині хвилі. Один лазерний імпульс вибирається із заданою довжиною хвилі, яка поглинається газом, що представляє інтерес, а інший лазерний імпульс, що має довжину хвилі, яка відрізняється, не поглинається. Енергія, що відбивається назад у напрямку сенсора для обох довжин хвиль, вимірюється та об'єднується, щоб одержати оцінку протяжності концентрації цільового газу. Цей процес описаний нижче більш детально.

Енергія, яка відбивається в напрямку сенсора, описується таким відношенням,

$$E_{\infty} = \frac{E_T \rho_{\pi} \exp[-2(CL_p + C_{bg}R)\sigma(\lambda)]}{R^2} \quad (1)$$

де E_T енергія, що передається, ρ_{π} - відбивна здатність поверхні, CL_p - добуток концентрації протяжності викиду, C_{bg} - фонові концентрації газу, R відстань до поверхні, $\sigma(\lambda)$ - поперечний переріз поглинання газу як функція довжини хвилі. Тут передбачається, що енергія E_T постійна від імпульсу до імпульсу (оскільки будь-які зміни можуть бути виміряні та враховані), ρ_{π} дорівнює 0,005 і не залежить від довжини хвилі в малому діапазоні довжин хвиль, що розглядаються, R звичайно становить 500м, і поперечний переріз $\sigma(\lambda)$ не змінюється значно внаслідок змін температури і тиску вздовж траєкторії. Останнє припущення було б не справедливим для траєкторій, які вимірюються на декілька кілометрів за висотою, але воно є прийнятним для польоту літального апарата на висоті 500м. Також потрібно зазначити, що може вияви-

тися необхідним повторно виміряти $\sigma(\lambda)$, якщо система працює в регіоні, де рівень землі набагато вищий від рівня моря.

Елементом, який залежить від довжини хвилі, у рівнянні (1) є поперечний переріз $\sigma(\lambda)$. Багато-які з елементів, які не змінюються, можуть бути скорочені шляхом вимірювань на двох довжинах хвиль і діленням результатів. Нехай E_1 позначає виміряне значення енергії на одній довжині хвилі, а E_2 позначає виміряне значення енергії на іншій довжині хвилі. Тоді

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\exp[-2(CL_p + C_{bg}R)\sigma(\lambda_1)]}{\exp[-2(CL_p + C_{bg}R)\sigma(\lambda_2)]} \quad (2)$$

Натуральний логарифм від (2) дорівнює:

$$\frac{1}{2} \log \left(\frac{E_1}{E_2} \right) = (CL_p + C_{bg}R)(\sigma(\lambda_2) - \sigma(\lambda_1)) \quad (3)$$

Поперечний переріз може вимірюватися автономно або в режимі реального часу (використовуючи газонаповнений фотоелемент на борту літального апарата). У будь-якому випадку, поперечний переріз на кожній довжині хвилі є відомою величиною, тому:

$$\frac{1}{2(\sigma(\lambda_2) - \sigma(\lambda_1))} \log \left(\frac{E_1}{E_2} \right) = (CL_p + C_{bg}R) \quad (4)$$

Рівняння (4) описує спосіб вимірювання, що моделюється згідно з даним винаходом. Однак, існують додаткові можливості обробки, оскільки R також може вимірюватися системою, і C_{bg} можна оцінювати або вимірювати. Потім можна було б одержати оцінку CL_p . У завершеній системі, ймовірно, одна тільки оцінка CL_p буде важливою частиною одержаного співвідношення, але аналіз рівняння (4) є достатнім, щоб охарактеризувати ефективність виявлення викиду.

Рівняння (4) не враховує вплив відмінностей за довжиною (C_k) атмосферної концентрації. Але рівняння (5) враховує вплив відмінностей за довжиною атмосферної концентрації, коли C_k можна оцінити або виміряти.

$$\frac{1}{2(\sigma(\lambda_2) - \sigma(\lambda_1))} \log \left[\left(\frac{E_1}{E_2} \right) - 2C_k \right] = (CL_p + C_{bg}R) \quad (5)$$

Для пояснення даного винаходу, розглянемо структурна схема відомої системи DIAL, що включає лазер з однією увімкненою лінією і лазер з однією вимкненою лінією, що настроюються сигналами електронного керування на дві різні довжини хвилі підсилювачами і захоплення лінії. Довжина хвилі увімкненої лінії вибирається поблизу піка оптичного поглинання цільового газу, а довжина хвилі вимкненої лінії вибирається поблизу крила довжини хвилі оптичного поглинання цільового газу. Промені лазерів із довжинами хвиль увімкненої та вимкненої лінії, відповідно, об'єднуються на голографічній решітці, передаються дзеркалом швидкої розгортай через телескоп і спрямовуються та наводяться дзеркалом повільної розгортай. Нарешті, у досліджуваному районі, газові домішки в атмосфері поблизу земної поверхні послідовно скануються лазерними променями.

Лазерний промінь розсіюється і проходить через газові домішки, відбивається від підстильної поверхні і знову розсіюється і проходить через газові домішки. Потім відбите світло відбивається дзеркалом повільної розгортки в телескоп і відхиляється розщеплювачем променя, що спрямовує лазерний промінь, який пройшов, на інший набір розщеплювачів променів для проходження через набір фільтрів, що пропускають тільки довжини хвиль увімкненої та вимкненої ліній, після чого набір детекторів оптимальним чином перетворює відбите світло в електричний сигнал. Потім сигнал підсилюється підсилювачем і перетворюється в цифровий сигнал набором аналого-цифрових перетворювачів. Цифровий сигнал обробляється та аналізується комп'ютером для обчислення відношення відбитих сигналів увімкненої та вимкненої ліній, яке прямо пропорційне довжині шляху концентрації цільового газу.

У попередньому рівні техніки вибиралася і вимірювалася тільки одна сигнатурна характеристика цільових газів домішок. На протилежність цьому, у даному винаході для підвищення надійності, чутливості та ефективності системи виявлення витоків у газо- і нафтопроводах використовується більше однієї сигнатурної характеристики цільових газових домішок. Спрощена структурна схема відповідної до даного винаходу оптичної сенсорної системи на DIAL перестроюваному лазері із трьома лініями випромінювання показана на Фіг.3. Лазер 320 з однією увімкненою лінією для метану, лазер 395 з однією увімкненою лінією для етану і лазер 385 з однією вимкненою лінією настроюються сигналами 355 електронного керування на три різні довжини хвиль підсилювачами 310, 365 і 375 захоплення лінії, відповідно; довжини хвиль увімкнених ліній вибираються поблизу піка характеристик оптичного поглинання цільових газів, а довжина хвилі вимкненої лінії вибирається поблизу крила довжини хвилі оптичного поглинання цільового газу. Промені лазерів 320, 395 і 385 із довжинами хвиль двох увімкнених і однієї вимкненої ліній, відповідно, об'єднуються на голографічній решітці 340 для формування об'єданого лазерного променя 330. Об'єднаний лазерний промінь 330 передається дзеркалом 350 швидкої розгортки через телескоп 302 і спрямовується і наводиться дзеркалом 304 повільної розгортки для формування лазерного променя 330. У досліджуваному районі газові домішки в атмосфері поблизу земної поверхні послідовно скануються лазерним променем 360. Лазерний промінь 360 розсіюється і проходить через газові домішки 308, відбивається від підстильної поверхні 309, знову розсіюється і передається газовими домішками 308, формуючи відбите світло 306. Відбите світло 306, одержане з лазерного променя 360, що пройшов, відбивається дзеркалом 304 повільної розгортки в телескоп 302 і відхиляється розщеплювачем 331 променя, формуючи відбите світло 370. Відбите світло 370 проходить крізь набір розщеплювачів 380 променів перед надходженням на набір фільтрів 390. Фільтри 390 пропускають тільки дві довжини хвиль увімкненої лінії та одну довжину хвилі вимкненої лінії, перш ніж набір детекторів 305 оптимальним чином

перетворює відбите світло в електричний сигнал. Електричний сигнал підсилюється підсилювачем 315, перетворюється в цифровий сигнал набором аналого-цифрових перетворювачів 325. Цифровий сигнал обробляється та аналізується комп'ютером 335 для обчислення відношення відбитих сигналів двох увімкнених і вимкнених ліній, яке прямо пропорційне довжині шляху концентрації цільових газів.

Багато джерел вибраного цільового газу, наприклад метану, і мінливість типу відбивної здатності земної поверхні збільшують імовірність фіктивних тривог. Система DIAL на перестроюваному лазері із трьома лініями випромінювання, яка відповідає даному винаходу, мінімізує фіктивні тривоги, зумовлені виявленням багатьох джерел цільового газу і мінливою відбивною здатністю земної поверхні.

Наведена як приклад структурна схема системи показана на Фіг.4. Одержані від користувача дані про місцезнаходження трубопроводу спочатку обробляються, фільтруються, стандартизуються і зберігаються в базі 410 даних місцезнаходження трубопроводу. Нормалізація одержаних від користувача даних про місцезнаходження трубопроводу передбачає застосування одного стандартного формату файлу для одержаних від користувача даних про місцезнаходження трубопроводу. Нормалізовані дані про місцезнаходження досліджуваного району завантажуються в комп'ютерну систему 450 керування, збирання даних і аналізу даних. Система 430 визначення траєкторії польоту і лазерного наведення, пов'язана з комп'ютерною системою керування, збирання даних і аналізу даних, спрямовує літальний апарат по заданій траєкторії польоту і наводить лазерні пучки в задану точку. Бортові засоби для вимірювання положення і руху, що є частиною системи 430 визначення траєкторії польоту і лазерного наведення, виконують коректуючий вплив для напрямку літального апарата і наведення лазера на інші точки за траєкторією польоту. Сенсорна система 440, також пов'язана з комп'ютерною системою 450 керування, збирання даних і аналізу даних, спрямовує лазерні промені на флюїди 420 витоків, що просочуються, і приймає відбите від них світло. Комп'ютерна система 450 керування, збирання даних і аналізу даних посилає керуючі сигнали до сенсорної системи 440 і приймає сигнали від сенсорної системи 440 для контролю, збереження та аналізу даних концентрацій, обумовлених витокami.

Більш докладна структурна схема, що відповідає винаходу, і його основна підсистема 500 показані на Фіг.5. Основна підсистема 500 включає в себе систему 510 інтерфейсу разом із програмним забезпеченням графічного інтерфейсу користувача (ГІ) для запуску, зупинки, налагодження, моніторингу і керування діями основної підсистеми 500. Комп'ютерна система 520 має високопродуктивний процесор (наприклад, мікропроцесор Intel Pentium™ або AMD Athlon™, або IBM PowerPC 750CX), і різні апаратні компоненти такі, як процесор для обробки сигналів і аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), поряд з одним або більше інтерфейсами для зв'язку з іншими компонентами

основної підсистеми 500. Наприклад, с зв'язки зі сканером 550, із системою 530 керування, системою 505 збирання та аналізу сигналів і системою 525 визначення траєкторії польоту і лазерного наведення із системою GPS. У повній основній підсистемі є змінні апаратні накопичувачі та різні монітори для відображення умов обробки.

Система 505 збирання та аналізу сигналів містить плату обробки сигналів для обробки сигналів і програмне забезпечення для накопичення та аналізу даних, призначене для вимірювання, запису і відображення виміряних рівнів концентрації етану і метану.

Основна підсистема 500 включає в себе систему 535 літального апарата. Системою 535 літального апарата може бути літальний апарат Cessna™ 402B або будь-який інший літальний апарат, що має можливість польоту на висоті приблизно 500м зі швидкістю приблизно 67м/с, і має на борту систему виявлення витоків флюїду в трубопроводі па перестроюваному DIAL лазері з трьома лініями випромінювання і бортову систему 525 визначення траєкторії польоту і лазерного наведення.

Більш конкретно, система 525 визначення траєкторії польоту і лазерного наведення включає в себе портативну систему GPS і блок інерційних вимірювань (IMU) і сполучається з комп'ютерною системою 520 для постійного оновлення даних положення літального апарата і наведення лазерних променів, використовуючи лазерну систему 540 за допомогою системи 530 керування, відповідно до нинішнього положення літального апарата.

База даних 515 місцеположення трубопроводу включає в себе програмні алгоритми для обробки, фільтрації і нормалізації одержаного від користувача набору даних про місцеположення трубопроводу і дані місцеположення в режимі реального часу від бортових системи GPS і IMU для прогнозування оптимальної траєкторії польоту та оновлення бази даних місцеположення трубопроводу з використанням карти прогнозованої оптимальної траєкторії.

Система 530 керування включає в себе всі електронні схеми і схеми температурного контролю для керування роботою перестроюваної лазерної системи 540 із трьома лініями випромінювання. Прикладами можуть служити прецизійні контури керування зі зворотним зв'язком для задоволення вимог зі струму для кожного лазерного діода, температурні датчики, блоки настройки лазерного резонатора, які забезпечують синхронізацію вихідних сигналів кожного Nd:YLF лазера з відповідним лазерним джерелом, схеми синхронізації, які виробляють синхронізуючі імпульси для синхронізації збудження кожного лазера, поряд із синхронізацією перемикавання добротності в лазерній системі 540 і синхронізацією системи 505 збирання та аналізу сигналів. Відповідно, лазерна система 540 реалізує лазерну передавальну систему DIAL прямого виявлення із трьома лініями випромінювання.

Лазерна система 540 працює в середньохвильовій інфрачервоній спектральній області та використовує три напівпровідникових Nd:YLF лазер-

них передавача. Ці лазери формують світло на одній частоті та працюють із частотою повторення імпульсів 3050Гц. Кожен лазер формує вихідну потужність близько 0,68Вт. Лазери є перестроюваними і настроєні на необхідні довжини хвиль. Таким чином, лазерна система 540 виробляє короткі одночастотні імпульси тривалістю 10нс на трьох різних довжинах хвиль.

Система 550 сканування включає в себе підсистеми обертових клинів швидкого сканування і клинів повільного сканування з компенсатором тангажу і крену. Обертові клини швидкого сканування забезпечують наведення переданого лазерного світла, що йде від лазерної системи 540 передавача до області цілі. Світло, що розсіяне у зворотному напрямку від області цілі, також спрямовується системою 550 сканування в систему 590 виявлення (приймач).

Система 550 сканування генерує таким чином діаграму напрямленості опромінення з круговим обертанням навколо оптичної осьової лінії підсистем передавача/приймача. Компенсатор тангажу і крену підсистеми повільного сканування системи 550 сканування спрямовує центр траєкторії кругового опромінення на область цілі.

Система 560 телескопа є оптичною системою, яка також називається телескопом приймача. Основна функція системи 560 телескопа полягає у збиранні світла, що розсіяне у зворотному напрямку від області цілі, і фокусуванні його на системі 590 виявлення. Система 560 телескопа фокусується на області цілі, і частина відбитого світла, яка падає на основне дзеркало телескопа приймача, фокусується вторинним дзеркалом телескопа і лінзою, що колімує, у колімований пучок. Високо-частотний оптичний проникний інтерфейсний фільтр з оптичною смугою пропускання, яка включає в себе згадані три довжини хвиль, служить для режекції широкосмугового фонованого світла із відбитого сонячного випромінювання і теплових випромінювань нагрітих поверхонь.

Система 590 виявлення містить компоненти і підсистеми, що необхідні для виявлення та електронного перетворення відбитого сигналу на трьох довжинах хвиль середнього інфрачервоного діапазону. Система 590 виявлення може також визначатися як приймальна система. Система 590 виявлення використовує пряме детектування потужності сигналу і використовує три роздільних детектори, причому кожний детектор аналізує різні частини відбитого променя для забезпечення великого динамічного діапазону, зумовленого як змінами відбивної здатності земної поверхні (фону), так і ослабленням при поглинанні газовими домішками. Відповідно виявлені електронні сигнали посилюються і оцифровуються.

Основна підсистема 500 призначена для виявлення слідової кількості флюїдів 570. Для газу і витоків у трубопроводі такими флюїдами 570 є метан і етан. Однією з цілей є вибір характеристик, пов'язаних зі слідовою кількістю флюїдів 570, при витоків флюїду в трубопроводі, щоб забезпечити можливість надійного виявлення можливих витоків у трубопроводі.

На виявлення слідових кількостей флюїдів 570 може впливати підстильна поверхня 580.

Підстильна поверхня 580 визначає відбиття від земної поверхні. Підстильною поверхнею 580 можуть бути кущі, ґрунт, вода, дерева, пісок і т.д. Підстильна поверхня 580 відображає світло зворотного розсіювання до системи 560 телескопа.

Монітор 545 увімкнений до основної підсистеми 500 для виведення на екран різних графічних інтерфейсів користувача (ПК), які роблять можливим моніторинг і аналіз релевантних умов обробки для системи виявлення витоків флюїду в трубопроводі на DIAL лазері із трьома лініями випромінювання. Комп'ютерна система 520 посилає керуючі сигнали до системи 530 керування та одержує інформацію, що міститься в сигналі контролю, із системи 530 керування. Комп'ютерна система 520 також має доступ до інтерфейсу 510 бази даних заздалегідь встановленої оптимальної траєкторії польоту і до бортової підсистеми 525 визначення траєкторії польоту і лазерного наведення на GPS і IMU для наведення лазерних променів під керуванням системи 530 керування, і визначає наступне місцеположення цілі, яке в свою чергу вводиться до системи 535 літального апарата. Система 530 керування посилає електричний сигнал захоплення до лазерної системи 540, а також керує температурою всіх діодних лазерів у лазерній системі 540. Лазерна система 540 генерує три майже синхронних лазерних променя в імпульсі тривалістю не більше від 10 не заданої довжини хвилі для передачі до місцеположення цілі. Передані лазерні промені проходять крізь систему 530 сканування, атмосферу, слідову кількість флюїдів 570 і падають на підстильну поверхню 580. Відбитий сигнал від підстильної поверхні проходить знову крізь флюїди 570 і атмосферу, зворотно в систему 560 телескопа. Відбите світло входить до апертури системи 560 телескопа і фокусується на детекторах у системі 590 виявлення. Виявлений аналоговий сигнал оптимальним чином оцифровується з урахуванням оптимального динамічного діапазону системою 590 виявлення, і оцифрований сигнал аналізується системою 505 збирання та аналізу сигналів для оцінки довжини шляху концентрації флюїдів цілі. Програмний алгоритм у комп'ютерній системі 520 статистично аналізує оцінку довжини шляху концентрації. Проаналізовані сигнали зберігаються на жорсткому диску комп'ютерної системи, і на монітор 540 виводяться двовимірні або тривимірні відображення газу.

Компоненти кожної основної підсистеми, як показано на Фіг.5, для лазера генеруючого джерела #1, згідно з даним винаходом, описані далі з посиланням на Фіг.6. Компоненти, що описуються, як окремо, так і разом, не є єдино можливими. Еквівалентні компоненти можуть використовуватися замість показаних або припускаються використовуваними.

Згідно Фіг.6, лазерна система 640 може містити передавач, лазерні накачки, оптичний параметричний генератор (ОПГ), оптичний параметричний підсилювач (ОПП), підсилювач інжекції, комп'ютеризований контролер лазерного джерела і пристрій захоплення лінії випромінювання. Компонен-

ти системи 650 сканування можуть включати в себе дзеркало, клини швидкого сканування, клини повільного сканування з компенсатором тангажу/крену, тримач вікна/корпусу.

Система 660 виявлення може включати в себе оптичний фільтр, оптичні узгоджувальні елементи, детектори, підсилювачі та аналого-цифрові перетворювачі. Система 630 визначення траєкторії польоту і лазерного наведення може включати в себе навігаційні компоненти такі, як система GPS і система IMU і широкосмугову апаратуру для оновлення даних місцеположення літального апарата і висоти.

Система 620 керування, збирання та аналізу сигналів може включати в себе компоненти, які забезпечують керування, збирання та аналіз сигналів, збирання допоміжних даних, команд сканера, збирання навігаційних даних і запис даних. Система 610 користувальницького інтерфейсу може мати компоненти для взаємодії з користувачем, із пілотом, і план польоту, який включає в себе карту з цільовим трубопроводом. На монітор 670 виводиться ПК, режими обробки і швидкості витоків із зазначенням концентрації. Контролер 680 живлення забезпечує електричне живлення всіх підсистем.

Система 620 керування, збирання та аналізу сигналів (що містить блоки 520, 530 і 505, як показано на Фіг.5) посилає керуючі електричні сигнали захоплення до лазерної системи 640 і одержує інформацію сигналів контролю з лазерної системи 640. Система 620 керування, збирання та аналізу сигналів також має доступ до даних заздалегідь визначеної оптимальної траєкторії польоту через інтерфейс бази 610 даних траєкторії польоту; і керує бортовою підсистемою 630 визначення траєкторії польоту і лазерного наведення з використанням GPS і IMU для наведення лазерного променя за допомогою системи 650 сканування. Додатково, система 620 керування, збирання та аналізу сигналів визначає наступне місцеположення цілі та передає інформацію про ціль до системи 535 літального апарата (показана на Фіг.5). Система 620 керування, збирання та аналізу сигналів також керує температурою всіх діодних лазерів у лазерній системі. Лазерна система 640 генерує три майже синхронних імпульсних лазерних променя (наприклад, із тривалістю не більше ніж 10 не) на заданій довжині хвилі та передає імпульсні лазерні промені до місцеположення цілі за допомогою системи 650 сканування.

Передані лазерні промені проходять через атмосферу, флюїди і падають на підстильну поверхню. Відбитий сигнал від підстильної поверхні проходить знову крізь флюїди та атмосферу і повертається до системи 690 телескопа. Відбите світло входить до апертури системи 690 телескопа і фокусується на детекторах у системі 660 виявлення. Виявлений аналоговий сигнал оцифровується в оптимальному динамічному діапазоні, що використовується системою 660 виявлення, і одержаний оцифрований сигнал аналізується системою 620 виявлення, збирання та аналізу сигналів для оцінки довжини шляху концентрації цільових флюїдів. Програмний алгоритм статистично аналі-

зує оцінку довжини шляху концентрації в системі 620 керування, збирання та аналізу сигналу. Проаналізовані сигнали зберігаються на жорсткому диску системи 620 керування, збирання та аналізу сигналів і на монітор 670 виводяться двовимірні або тривимірні відображення газу.

На Фіг.7 показана спрощена структурна схема передавача лазерного джерела, який використовує $1\mu\text{m}$ Nd:YLF лазер, який здійснює накачку перетворювача частоти на оптичному параметричному генераторі (ОПГ) і оптичному параметричному підсилювачі (ОПП). Накачка ОПГ забезпечує роботу в одночастотному режимі. Як показано на Фіг.7, лазерне джерело #2 (705) і лазерне джерело #3 (715) генерують промені, які об'єднуються просторовим фільтром 790 в один промінь, що передається.

Різні підходи до вибору лазерного джерела розглядалися на основі ефективності джерела η , що являє собою електрооптичну ефективність без урахування потужності лазерної накачки і потужності охолодження.

Тривалість короткого імпульсу і точна синхронізація імпульсів вимагають використання лазера з активною модуляцією добротності. Модуляція добротності є переважною для коротких імпульсів, а активне керування є переважним для точної синхронізації. Не існує джерел, що серійно випускаються і задовольняють ці вимоги. Традиційні лазерні технології звичайно використовують нелінійні оптичні методи для зміщення довжини хвилі лазерів високого технічного рівня в короткохвильовому інфрачервоному (КХІЧ) або довгохвильовому інфрачервоному (ДХІЧ) діапазоні довжин хвиль, щоб одержати довжини хвиль середньохвильового інфрачервоного (СХІЧ) діапазону, такі як довжини хвиль, що використовуються у даному винаході. Прикладами лазерів КХІЧ- і ДХІЧ-діапазонів, які можуть зміщуватися за частотою в СХІЧ діапазон, є, відповідно, напівпровідникові (Nd) лазери і газові (CO_2) лазери.

Згідно Фіг.7, одночастотне перестроюване за частотою лазерне джерело на $1\mu\text{m}$ DPSSL/ОПГ-ОПП використовується для генерації вибраної довжини хвилі. ОПГ-ОПП 750 накачується Nd:YLF лазером із добротністю, що модулюється, працюючим на довжині хвилі 1047нм. Nd:YLF лазер накачується волоконно-зв'язаним діодним лазером 710, працюючим на довжині хвилі 805нм і збуджуваного інжекцією безперервної хвилі, для одержання єдиної частоти 1047нм світла від звичайного джерела збудження. ОПГ-ОПП 750 є інжекційним, що збуджується за допомогою діодного лазера із зовнішнім резонатором (ДЛЗР), працюючого на довжині хвилі -1510нм для забезпечення одночастотного вихідного випромінювання на довжині хвилі 3400нм. Комбінація підсистем Nd:YLF лазера 730 збудження, ДЛЗР лазера 740 збудження, $1\mu\text{m}$ DPSSL 710, ОПГ-ОПП 750, показана на Фіг.7, збільшує ефективність перетворення довжини хвилі шляхом використання двох нелінійних процесів у резонаторі ОПГ. ОПГ використовується для перетворення деякої кількості не спожитої енергії, що генерується кристалом ОПГ, у вихідне випромінювання на довжині хвилі

3400нм. Як показано на Фіг.7 процес ОПГ перетворює довжину хвилі накачки Nd:YLF ($1047\text{нм} > 3400\text{нм} + 1510\text{нм}$) і процес ОПП потім посилює вихідне випромінювання на 3400нм ($1510\text{нм} > 3400\text{нм} + 2720\text{нм}$). Це означає, що окремий фотон накачки може сформувати два фотони на 3400нм. Таким чином, формується більше фотонів СХІЧ-діапазону, ніж кількість випадкових фотонів накачки, внаслідок ефективності перетворення фотонів, перевищуючій 100%. Отже, двоетапне перетворення призводить до більш високої повної ефективності оптичних перетворень, приблизно на 25% або більше. Отже, повна ефективність системи при цьому конкретному підході становить приблизно 2.

Структурна схема окремого лазерного джерела більш детально показана на Фіг.8. Вихідне випромінювання діодного лазера 850 накачки на 805нм проходить по оптичному волокну, колімується і фокусується в Nd:YLF стержень 860, щоб забезпечити підсилення для лазера. Також Nd:YLF лазер 860 є лазером із модуляцією добротності та збуджується лазером 805 збудження на 1047 нм. Вихідне випромінювання лазера 860 на 1047нм інжектується в лазерний резонатор 870 ОПГ-ОПП через тонкоплівковий поляризатор. Також лазерний резонатор 870 ОПГ-ОПП збуджується ДЛЗР лазером 815 збудження на 1510нм. ОПГ-ОПП є кільцевим резонатором із 4 дзеркалами, що містить 2 періодично-поляризованих кристала ніобат літію (ППНЛ). Перший кристал вибирається для генерації світла з довжиною хвилі 3400нм і 1510нм із накачки 1047нм, тоді як другий кристал (повинен бути іншим #) вибирається для генерації світла з довжиною хвилі 3400нм і 2700нм із накачки 1510нм. Резонатор 870 резонує на 1510нм і збуджується інжекцією на цій довжині хвилі через вихідний елемент зв'язки. Довжина резонатора настроюється на частоту збудження за допомогою блоку 840 із використанням методу Pound-Drever-Hall (PDH) із модуляцією радіочастот, що застосовується до збудження на 1510нм діодного лазера. Діодні підсистеми 810 і 890 керують температурою і струмом діодного лазера накачки, відповідно. Підсистема 820 керує модуляцією добротності та збудженням резонатора за рахунок дії лазера 860. Контролер 845 керує довжиною хвилі 1047нм лазера 805 збудження. Підсистема 855 настроює довжину резонатора лазера 860 збудження. Контролер 865 лазера збудження керує довжиною хвилі 1510нм лазера збудження; та електронні схеми 875 лазера збудження настраюють лазер збудження на необхідну довжину хвилі.

Структурна діаграма підсистеми визначення траєкторії польоту і лазерного наведення показана на Фіг.9. Як згадувалося раніше, у даному винаході передбачається вимірювання сигнатур слідової кількості домішок газу як рівня концентрації для витоків флюїду в трубопроводі всередині визначеного коридору вздовж траси трубопроводу. Щоб виконати цю задачу, підсистема лазерного наведення активним способом безперервно спрямовує три об'єднаних промені згідно з нинішнім положенням літального апарата і бажаним місцеположенням для вимірювань на земній поверхні. Швид-

ко обертовий круговий сканер 905 і повільно обертовий сканер 915 наведення спрямовують три промені за сталою і круговою діаграмою спрямованості згідно з нинішнім місцеположенням літального апарата і необхідним покриттям коридору. Ідеальна траєкторія польоту, що планується, буде вироблятися для оптимального покриття земної поверхні вздовж траєкторії польоту. Система 920 GPS і/або IMU опитується з частотою 100Гц модулем 930 оновлення даних місцеположення і висоти для визначення нинішнього місцеположення літального апарата і висоти. На основі нинішнього положення, найближча точка проекції ідеальної траєкторії польоту буде визначатися разом зі зв'язаним із нею місцеположенням на земній поверхні. Кругова діаграма напрямленості спрямовується у це місцеположення на земній поверхні з урахуванням нинішньої висоти. Інформація про нинішнє місцеположення використовується комп'ютерною системою 940 збирання даних і керування для передачі на контролер/привід сканера 990 для керування повільно обертовим сканером 915 наведення на область цілі та виведення на дисплей 950 даних пілота.

Контролер/привід сканера 980 і контролер/привід сканера 990 забезпечують наведення лазерного променя в місцеположення цілі на земній поверхні. Контролер/привід сканера 980 видає команду 960, що стосується сканування, на кожний імпульс сигналу часу/цикл сканування із частотою 20-40Гц у комп'ютерну систему 940 збирання даних і керування.

Алгоритм програмного забезпечення підсистеми бази даних місцеположення трубопроводу показаний на Фіг.10. Для стабільного керування наведенням необхідна однозначно певна інформація про місцеположення наведення у кожний момент протягом польоту.

Через те, що трубопровід може бути прокладений по нерегулярній траєкторії, яка не може точно відстежуватися літальним апаратом, можуть мати місце неоднозначності, пов'язані з наведенням на ціль. Отже, спочатку використовуються передпольотні етапи 1010 введення інформації про місцеположення трубопроводу і 1030 введення інформації ідеальної траєкторії польоту для обчислень таблиці однозначно визначеної відповідності на етапі 1020. Стартовий етап 1040 позначає початок польоту літального апарата, на попередньо визначеній висоті, до місцеположення цілі. Нинішні дані місцеположення літального апарата вимірюються на етапі 1050 бортовими системами GPS і IMU, із використанням місцеположення цілі. Визначення найближчих значень широти, довготи, висоти відносно ідеальної траєкторії польоту здійснюється на етапі 1070. Знаходження однозначно визначеної відповідної точки на земній поверхні здійснюється потім на етапі 1090. Після цього на етапі 1005 обчислюється необхідний кут оптичного клину для наведення на точку на земній поверхні, який видається пілоту на етапі 1080 визначення інформації корекції курсу для наведення сканера, щоб спрямувати три промені у найближчу точку цілі на земній поверхні на етапі 1060.

Схема розробленої системи виявлення витоків у газопроводі на DIAL лазері із трьома лініями випромінювання з більш докладним уявленням підсистеми передавача і приймача (приймача-передавача) показана на Фіг.11. Промені трьох лазерних джерел для довжин хвиль вимкненої і двох увімкнених ліній (1110, 1120, 1130, відповідно) спочатку розділяються трьома розщеплювачами 1140 променя для контролю їх потужності, а потім три промені лазерних джерел об'єднуються на голографічних решітках 1155 для одержання колінеарних променів. Колінеарні промені 1112 спрямовуються на решітку 1114 об'єднання променів для забезпечення фіксованої кінцевої апертури лазерного променя. Таким чином, будь-які зміщення, які можуть мати місце при юстируванні лазерів, будуть виявлятися за легко розпізнаваними неузгодженнями енергії переданого імпульсу, але не будуть впливати на калібрування вимірювань довжини газової концентрації. Промінь джерела, що містить безліч довжин хвиль потім вводиться до набору дзеркал 1116 для керування оптичним шляхом. Відбитий від настроюваних оптичних елементів оптичний промінь спрямовується на дзеркало 1118 швидкого сканування з гальванометричним приводом і випромінюється для опромінення земної поверхні через дзеркало 1122 повільного сканування з великою апертурою, яке також використовується для компенсації в смузі огляду сканера помилок, викликаних креном і відхиленнями від траєкторії польоту літального апарата. Оскільки дзеркало 1118 швидкого сканування з гальванометричним приводом відхиляється у межах повного кута 25 градусів, промінь джерела відхиляється за дугою 50 градусів на вході телескопа 1108. Телескоп 1108 забезпечує сканування в повному куті 5 градусів променя, що передається і формує розгортку 1126 смуги огляду земної поверхні шириною 35м у вигляді плями 1132 лазерного підсвічування на земній поверхні (додаткова кутова ширина передбачена для компенсації кута зносу літального апарата). Світло, розсіяне від приймальної підсвіченої плями 1128, входить до повної апертури телескопа через дзеркало повільного сканування з корекцією. Дзеркало 1118 швидкого сканування з гальванометричним приводом також відбиває прийняте світло у вихідну зіницю. Тим самим, дзеркало 1118 швидкого сканування з гальванометричним приводом зсуває поле зору центрального кута приймача (що еквівалентно зміщенню приймальної підсвіченої плями 1128 на земній поверхні) синхронно з оптичною центральною віссю переданого променя. Прийняте світло потім проходить через настроюваний розщеплювач 1111 променя і вузькосмуговий інтерференційний фільтр 1106, і відфільтроване світло 1104 надходить на детектор 1102 сигналу, на підсилювач 1146; і підсилений світловий сигнал 1180 перетворюється в цифрову форму за допомогою АЦП 1146. Для контролю стабільності трьох довжин хвиль, що відслідковуються, частина лазерного променя 1150 від лазерного джерела 1130 увімкненої лінії метану проходить у підсистеми 1160. Проникні фільтри 1165 спектральної лінії на газо-

вій комірці пропускають тільки вибрані лазерні лінії, потім набір детекторів 1185 перетворює лазерне світло, в аналогові електронні сигнали перед пропусканням цих сигналів через набір вимірників 1175 потужності (вимірників енергії) для контролю лазерної потужності. Потім сигнал виміряної лазерної потужності проходить через набір низькошвидкісних АЦП 1195, і вихідний сигнал цих АЦП 1195 прочитується комп'ютерною системою 1148 керування, збирання даних і аналізу. Підсистема 1144 електронного контролера сканера керує дзеркалом 1118 швидкого сканування і дзеркалом 1122 повільного сканування. База 1142 даних місцеположення трубопроводу, комп'ютерна система 1148 керування, збирання даних і аналізу і підсистема 1152 визначення траєкторії польоту і лазерного наведення, що показані на Фіг.11, описані вище.

Даний винахід може бути адаптований для виявлення безлічі компонентів вуглеводневих газів за допомогою зміни довжин хвиль сенсора на DIAL лазері із трьома лініями випромінювання.

Винахід описаний із посиланням на один або більше варіантів здійснення. Однак зрозуміло, що фахівці у даній галузі техніки зможуть вносити зміни і модифікації без відхилення від обсягу винаходу. Даний винахід призначається для виявлення витоків у газо- і нафтопроводах, однак, фахівцям у даній галузі техніки повинно бути зрозумілим, що даний винахід може застосовуватися для виявлення небезпечних речовин або інших матеріалів, що представляють інтерес. Крім того, зрозуміло, що спосіб може переважним чином використовуватися для розвідки нафти/газу та інших природних ресурсів, що представляють інтерес.

Перелік посилальних позицій:

105 Вільна область доступу

110 Літальний апарат

120 Бортова система виявлення витоків флюїду в трубопроводі з перестроюваним лідаром диференціального поглинання (DIAL) з трьома лініями випромінювання

130 Посланий лазерний промінь

140 Висота польоту

150 Газові домішки

160 Підземний трубопровід

170 Область витоку

180 Приклад земної поверхні: підстильна поверхня

190 Тривимірний зріз ділянки

310, 375 Підсилювач захоплення лінії

331, 380 Розщеплювач променя

390 Фільтр

305 Детектор

315 Підсилювач

340 Голографічна решітка

325 Аналого-цифровий перетворювач

350 Дзеркало швидкої розгортки

335 Комп'ютерна система керування, збирання даних і аналізу

302 Телескоп

355 Сигнали електронного керування

304 Дзеркало повільної розгортки

309 Приклад земної поверхні: підстильна поверхня

306, 370 Відбите світло

360 Посланий лазерний промінь

308 Газові домішки

320 Лазер з увімкненою лінією метану

385 Лазер із вимкненою лінією

395 Лазер з увімкненою лінією етану

410 База даних місцеположення трубопроводу

420 Флюїди витоків, що просочуються

430 Система визначення траєкторії польоту і лазерного наведення

440 Сенсорна система

450 Комп'ютерна система керування, збирання даних і аналізу

460, 670 Монітор

510 Система інтерфейсу

520 Комп'ютерна система

530 Система керування

540, 640 Лазерна система

550, 650 Система сканування

560 Система телескопа

570 Слідова кількість флюїдів

580 Підстильна поверхня

590, 660 Система виявлення

505 Система збирання та аналізу сигналу

515 База даних місцеположення трубопроводу

525 Система визначення траєкторії польоту і лазерного наведення

535 Система літального апарата

610 Інтерфейс користувача

Інтерфейс оператора

Інтерфейс пілота

План польоту

Карта трубопроводу

620 Система керування, збирання та аналізу сигналів:

контролер сигналів

збирання та аналіз сигналів

збирання допоміжних даних команди сканера

збирання навігаційних даних запис даних

630 Система визначення траєкторії польоту і лазерного наведення:

навігація

абсолютна опорна система GPS IMU

широкосмугове визначення місцеположення і швидкості

640 Лазерна система:

передавач

лазери накачки

інжекційне збудження

ОПГ/ОПП

Комп'ютер керування джерелом захоплення лінії

650 Система сканера:

дзеркало

швидкий сканер

компенсація тангажу/крепу

вікно

тримач/корпус

660 Система виявлення: приймач

детектор/підсилювач оптичне узгодження оптична фільтрація

670 Монітор: GUI

режими обробки

компенсація поперечного перерізу

швидкість зміни концентрації витоку

680 Керування потужністю живлення
Перетворювачі
система безперебійного живлення
690 Система телескопа
705 Лазерне джерело #2
710 Волоконно-зв'язаний діодний лазер без-
перервної хвилі на 805нм
715 Лазерне джерело #3
720 Nd:YLF лазер із ЕО модуляцією добротності на 1047нм
730 Nd: YLF Meteor лазер збудження
740-1510 ДЛЗР лазер збудження
750 ОПГ-ОПП
1047→+1513нм
770 Еталонна газова комірка порівняння
780 До сканера
790 Просторовий фільтр
805 Meteor Nd:YLF лазер збудження безпере-
рвної хвилі
810 Діодний контролер температури
815 ДЛЗР лазер збудження ОПП
820 Електрооптичний контролер модуляції до-
бротності
830 Температурна стабілізація
835 Еталонна комірка порівняння
840 Настройка довжини резонатора ОПГ на
лазерне збудження
845 Meteor контролер
850 Діодний лазер 805нм
855 Настройка довжини Nd: YLF резонатора
на лазерне збудження
860 Збуджуваний Nd:YLF лазер із модуляцією
добротності
865 Контролер лазера збудження
870 Інжекційно збуджуваний ОПГ-ОПП
880 Просторовий фільтр
890 Діодний контролер струму
905 Швидко обертовий сканер
915 Повільно обертовий сканер
920 Система GPS/IMU
930 100Гц оновлення даних місцеположення і
висоти
940 Комп'ютерна система збирання даних і ке-
рування
950 Дисплей даних пілота
960 1 імпульс сигналу часу/цикл сканування
(20-40Гц)
970 100Гц оновлення даних
980 Контролер/привід швидко обертового ска-
нера
990 Контролер/привід повільно обертового
сканера
1005 Обчислення необхідних кутів клина для
наведення на точку на земній поверхні (з ураху-
ванням висоти літального апарата)

1010 Введення карти з координатами трубо-
проводу зі зйомки
1020 Обчислення однозначно певної таблиці
відповідності (LUT)
1030 Введення даних ідеального плану польо-
ту 1040 Старт
1050 Зчитування поточних широти, довготи,
тангажу, крену і ристання
1060 Наведення сканера (лазерне наведення)
1070 Найближча точка в LUT із координатами
широти, довготи, висоти на ідеальній траєкторії
польоту
1080 Забезпечення інформації корекції курсу
для пілота
1090 Знаходження однозначно відповідної то-
чки земної поверхні в LUT
1102 Детектор
1104 Відфільтроване світло
1106 Вузькосмуговий інтерференційний фільтр
1108 Подвійний Kirkham-телескоп
1111 Направляюче дзеркало
1110 Джерело з вимкненою лінією
1112 Об'єднані лазерні промені
1114 Розширювач потоку
1116 Керуюче дзеркало
1118 Двоклиновий сканер швидкого кінцевого
сканування
1120, 1130 Джерело із увімкненою лінією СН
1122 Двоклиновий сканер наведення з кінчи-
ним скануванням
1124 Світло, відбите від земної поверхні (від-
бите світло)
1126 Розгортка смуги огляду земної поверхні
1128 Приймальна підсвічена пляма
1132 Пляма лазерного підсвічування
1140 Розщеплювач променя
1142 База даних місцеположення трубопрово-
ду
1144 Приводи сканера і код ери місцеполо-
ження
1146 Аналого-цифровий перетворювач
1148 Комп'ютерна система керування, збиран-
ня даних і аналізу
1152 Система визначення траєкторії польоту і
лазерного наведення
1154 Передачі сигналів захоплення лазерних
ліній
1155 Голографічна решітка
1160 Підсистема вимірювань лазерної енергії,
що передається
1165 Еталонна газова комірка
1170 Вимірник потужності
1175 Передана енергія
1180 Підсилений сигнал
1185 Детектори
1190 Підсилювач
1195 Низькошвидкісний АЦП

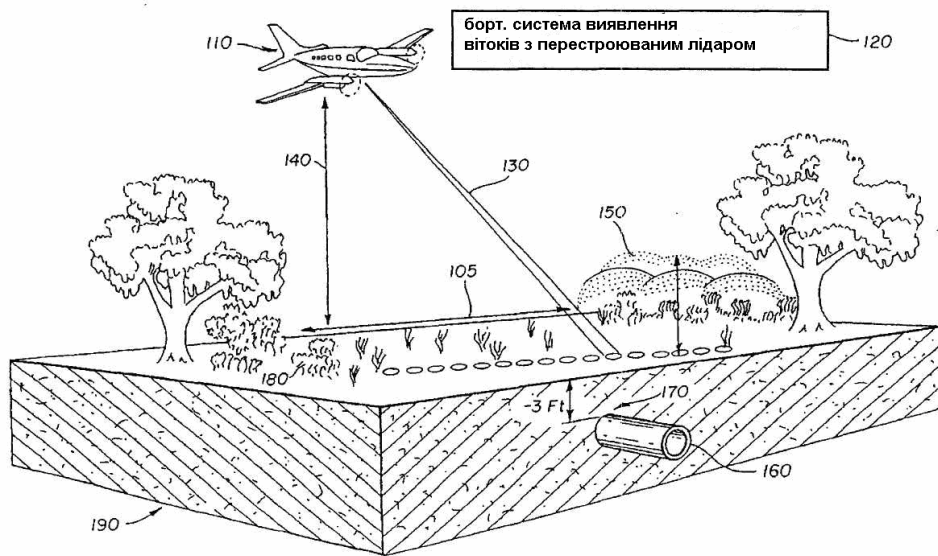


Fig. 1

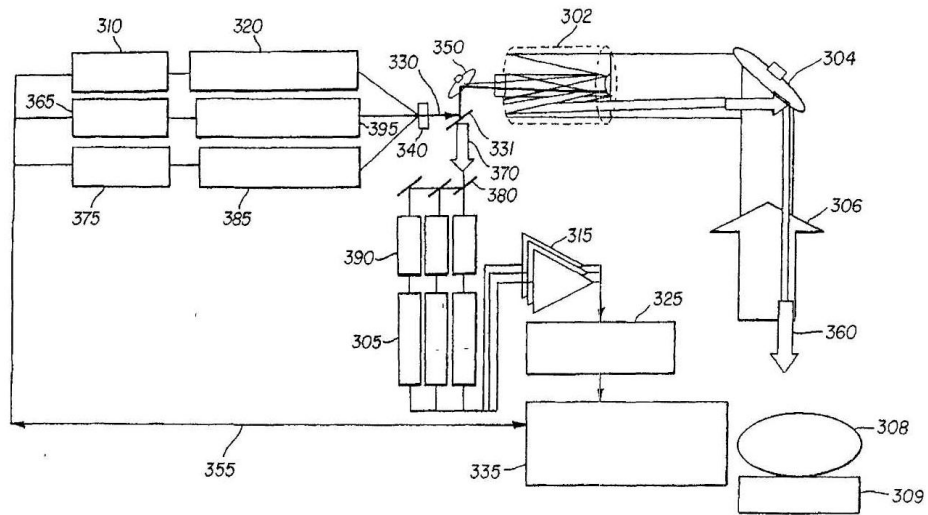


Fig. 3

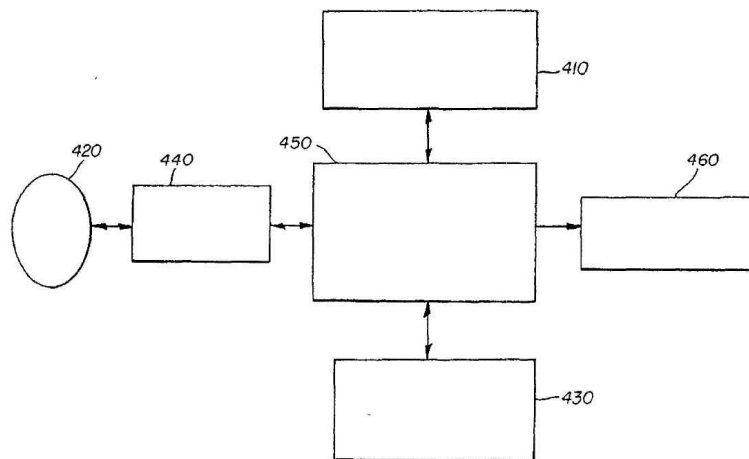


Fig. 4

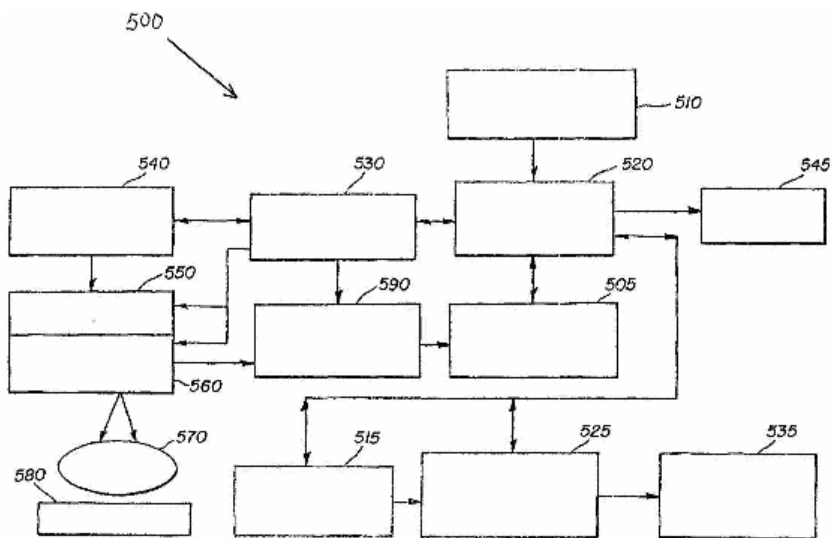


Fig. 5

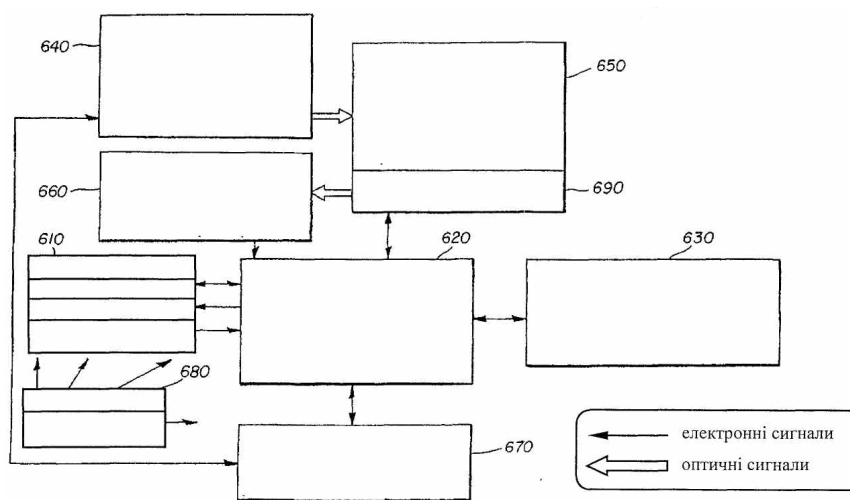


Fig. 6

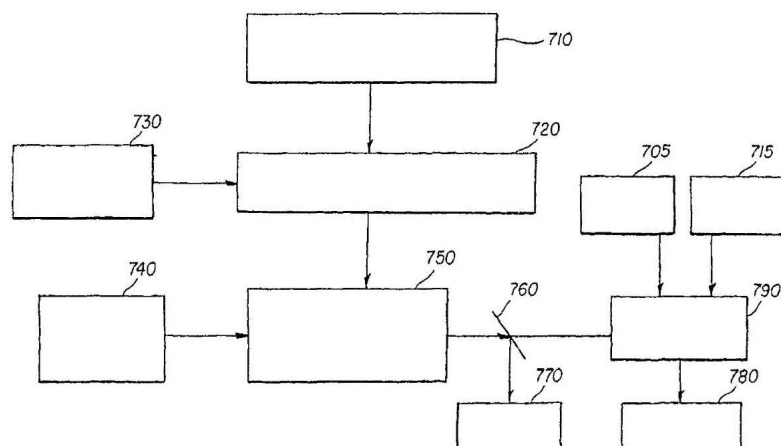


Fig. 7

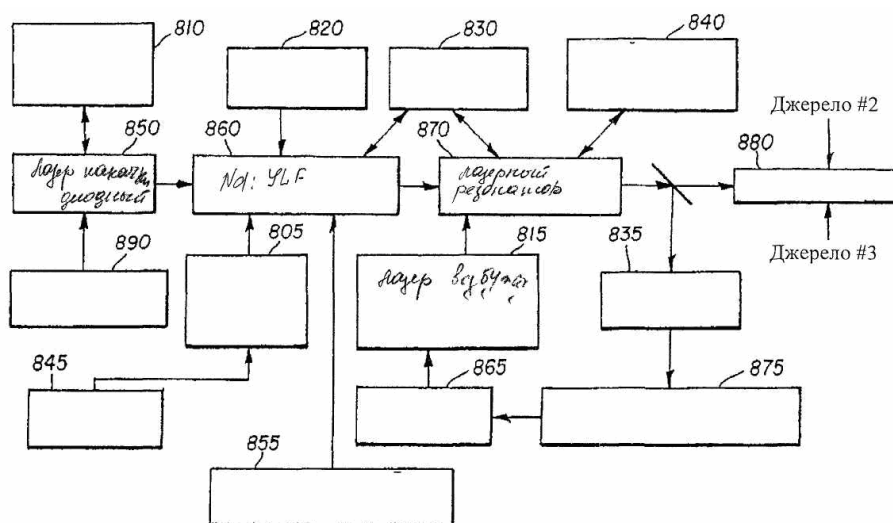


Fig. 8

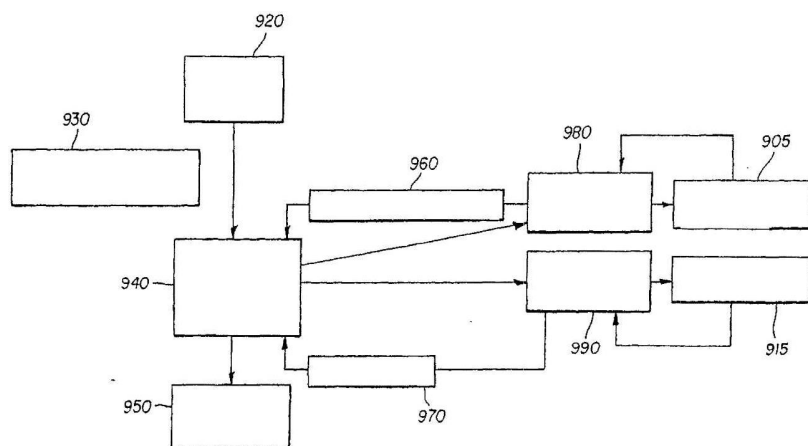


Fig. 9

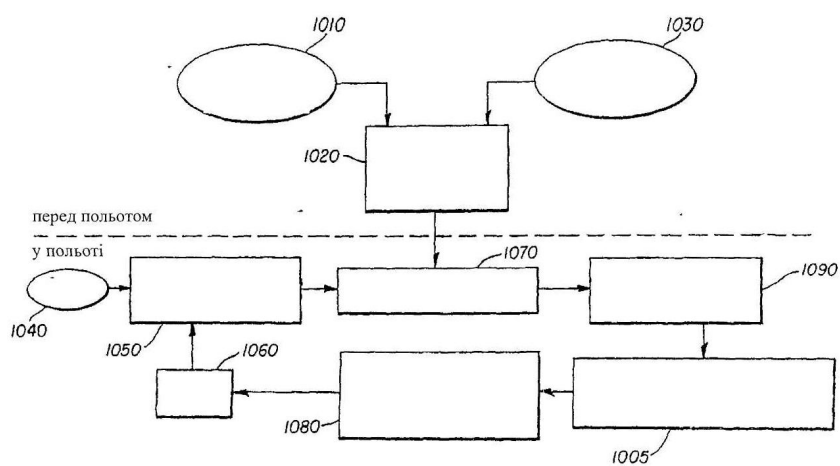


Fig. 10

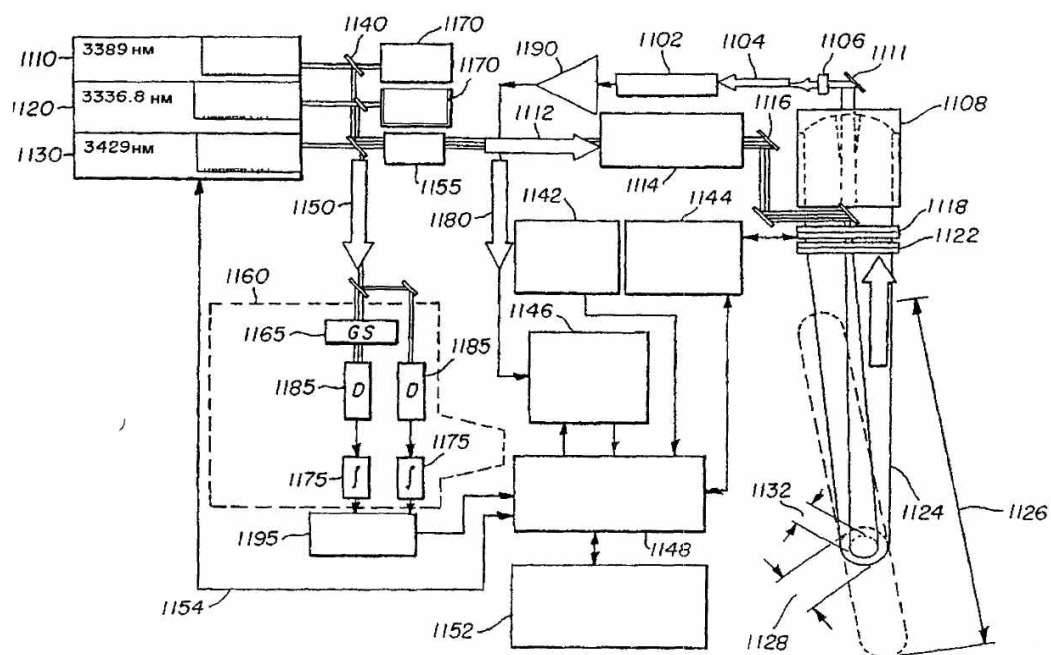


Fig. 11