

(12)

## Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **441235**

(22) Data zgłoszenia: **2022.05.20**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2023.11.27 BUP 48/2023**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2026.02.09 WUP 06/2026**

(51) MKP:

**G01N 21/65** (2006.01)

**E21B 47/00** (2012.01)

**E21B 47/12** (2012.01)

**E21B 47/017** (2012.01)

(73) Uprawniony z patentu:

**ORLEN SPÓŁKA AKCYJNA, Płock, PL**  
**LOTOS PETROBALTIC SPÓŁKA AKCYJNA,**  
**Gdańsk, PL**  
**ORLEN UPSTREAM SPÓŁKA**  
**Z OGRANICZONĄ ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ,**  
**Warszawa, PL**  
**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA**  
**IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE,**  
**Kraków, PL**  
**INSTYTUT NAFTY I GAZU – PAŃSTWOWY**  
**INSTYTUT BADAWCZY, Kraków, PL**  
**POLITECHNIKA WARSZAWSKA, Warszawa, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:

**JAN BARBACKI, Kraków, PL**  
**KAROL DĄBROWSKI, Kraków, PL**  
**SZYMON KUCZYŃSKI, Kraków, PL**  
**STANISŁAW NAGY, Kraków, PL**  
**RAFAŁ SMULSKI, Kraków, PL**  
**TOMASZ WŁODEK, Kraków, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzecz. pat. Robert Klisowski, Kraków, PL**

(54) Tytuł:

**Urządzenie do wyznaczania składu gazu ziemnego w otworze wiertniczym,  
w warunkach in situ**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest urządzenie do wyznaczania składu gazu ziemnego w otworze wiertniczym w warunkach „in situ”. Urządzenie stosowane jest w procesach pozyskiwania i eksploatacji złóż gazu ziemnego, odzysku metanu z pokładów węgla, głównie w celach ekonomicznej oceny opłacalności wydobycia.

W znanych urządzeniach przeznaczonych do analizy gazu bezgazolinowego bezpośrednio w otworze wiertniczym – czyli bez konieczności pobierania próbek gazu do analizy w laboratorium – wykorzystywana jest falowa spektroskopia oscylacyjna Ramana, nieelastycznego rozpraszania fotonów przez badaną substancję płynną naświetlaną światłem lasera. Analiza polega na komputerowym porównaniu widma częstotliwości rozproszonego promieniowania ramanowskiego z wzorcowym, charakterystycznym widmem dla danego wiązania chemicznego – i porównaniu częstotliwości i amplitud, które są proporcjonalne do stężenia, gęstości molowej danego pierwiastka w gazie ziemnym przy zadanym ciśnieniu i temperaturze.

Znane z amerykańskiego opisu patentowego US10088422B2 urządzenie do analizy gazu ziemnego posiada sondę pomiarową której głowica zawieszona jest na dolnym końcu wielożyłowego kabla karotażowego i przez wyciągarkę powierzchniową opuszczana do otworu wiertniczego. W przedstawionych na Fig. 3A i 3B sondach pomiarowych zabudowany moduł optyczny pomiaru spektroskopii Ramana zawiera: laser diodowy jako źródło promieniowania elektromagnetycznego wzbudzającego, zespół optyki skupiającej promieniowanie lasera, zespół zbiorczy promieniowania rozproszenia oraz detektor światła rozproszenia Ramana. Oba wymienione zespoły optyczne zawierają zwierciadła i soczewki kierujące promieniowania odpowiednio na próbkę gazu i do detektora optycznego. Sygnał optyczny detektora przetworzony na elektryczny w dekodерze przesyłany jest kablem karotażowym na powierzchnię do układu przetwarzania i analizy z wykorzystaniem programowalnego procesora komputerowego. Ponadto, sonda zawiera usytuowane powyżej głowicy: moduł mocy zasilania lasera i dekodera oraz moduł wzmacniający sygnał dekodera. W rozwiązaniu takim elementy elektroniczne sondy pomiarowej, które są wrażliwe na temperaturę – która na dużych głębokościach odwiertu rzędu 2000 m osiągać może nawet wartości bliskie 100°C – mogą istotnie zniekształcać wyniki analizy.

W publikacji autorstwa K.M. Dąbrowskiego i in., pt. „Downhole measurements and determination of natural gas composition using Raman spectroscopy” (Journal of Natural Gas Science and Engineering 2019, 65, pp. 25–31 doi: /10.1016/j.jngse.2019.02.003), ujawniono wglębną sondę połączoną poprzez światłowody ze źródłem promieniowania elektromagnetycznego, które stanowi laser diodowy, emitujący promieniowanie o długości fali 785 nm oraz spektrometrem Ramana. W sondę pomiarową wbudowane są tylko zespół optyki skupiającej promieniowanie wzbudzające wychodzące ze światłowodu i zespół optyki zbiorczej promieniowania rozproszonego na próbce gazu, które zwrrotnie trafia do światłowodu. W odwiercie znajduje się tylko sonda światłowodowa, podczas gdy laser i spektrometr pozostają na powierzchni. Czujnik ciśnienia rejestrował rzeczywiste warunki pomiaru, co pozwalało na obliczenie parametrów widm referencyjnych.

Wynalazek rozwiązuje problem techniczny zwiększenia dokładności pomiaru i wyznaczania składu chemicznego gazu ziemnego w głębokich odwiertach, przy wyższych temperaturach gazu sięgających 100°C i ciśnieniach do 25 MPa, poprzez wyeliminowanie błędów związanych z naprężaniem włókien światłowodowych.

Urządzenie według niniejszego wynalazku zawiera znane zespoły: spektrometr Ramana, laser diodowy z wbudowanym systemem stabilizacji temperatury i emitujący promieniowanie o długości fali większej od 700 nm oraz oprogramowany komputer z nośnikiem pamięci, które usytuowane są na samochodzie pomiarowym z wyciągarką kabla karotażowego, połączonego na końcu z sondą pomiarową, opuszczaną do otworu wiertniczego na głębokość pomiaru oraz wyposażoną w czujnik temperatury i ciśnienia, które połączone są ze spektrometrem Ramana i komputerem za pomocą przewodów sygnałowych, wbudowanych w kabel karotażowy. Spektrometr Ramana z detektorem również połączony jest z komputerem. Istota wynalazku polega na tym, że kabel karotażowy o budowie koncentrycznej posiada oplot stalowy i co najmniej dwa włókna światłowodowe usytuowane w jego osi i łączące optyczną głowicę sondy Ramana odpowiednio z laserem diodowym i spektrometrem Ramana, przy czym kabel karotażowy, na długości sondy pomiarowej i przed punktem połączenia włókien światłowodowych z głowicą sondy Ramana, jest pozbawiony oplotu stalowego i oplotu z włókien miedzianych, a na stalowym pancerzu stanowiącym ochronę włókien światłowodowych są luźno nawleczone obciążniki, wykonane

z materiałów o różnych gęstościach, oraz o ciężarze łącznym równoważącym parcie ciśnienia dennego w otworze wiertniczym.

W sondę pomiarową wbudowane są tylko zespół optyki skupiającej promieniowanie wzbudzące wychodzące ze światłowodu i zespół optyki zbiorczej promieniowania rozproszonego na próbce gazu, które zwrotnie trafia do światłowodu. Wykorzystanie lasera i długości fali większej od 700 nm z systemem stabilizacji temperatury ma na celu minimalizację atenuacji wiązki w światłowodzie i zmniejszenie sygnału fluoroscencyjnego wysyłanego od mierzonej próbki. Zastosowanie obciążników wykonanych z materiałów o różnych gęstościach oraz o ciężarze równoważącym parcie ciśnienia dennego w otworze wiertniczym pozwala na wyeliminowanie błędów związanych z naprężaniem włókien światłowodowych.

Urządzenie według wynalazku zostanie w pełni wyjaśnione na podstawie opisu przykładowego wykonania pokazanego na rysunku, którego Fig. 1 przedstawia schemat ogólny urządzenia, Fig. 2 – przekrój poprzeczny przez kabel karotażowy, Fig. 3a – schemat zestawu elementów sondy pomiarowej., Fig. 3b przedstawia zestaw nawleczony na kabel karotażowy w przekroju osiowym, Fig. 3c – zestaw elementów w widoku, Fig. 3d – widok z boku sondy, natomiast na Fig. 4 uwidoczniono schemat strefy połączenia głowicy sondy Ramona z obudową, według szczegółu „S” z Fig. 3d.

Urządzenie według wynalazku zastosowane zostało w celu uzasadnienia decyzji o opłacalności podjęcia eksploatacji gazu ziemnego z wybranej formacji geologicznej. W otwór wiertniczy **1** wykonany na głębokość 1800 m występowania skał nasyconych gazem ziemnym o nieznanym składzie chemicznym i ciśnieniu, opuszczona zostaje sonda pomiarowa **2**, zawieszona na kablu karotażowym **3** przewiniętym przez bęben wyciągarki **4** zabudowanej na samochodzie pomiarowym **5**. W nadwoziu samochodu pomiarowego **5** zabudowane są: laser diodowy **6** argonowy, emitujący promieniowanie wzbudzenia o długości fali 785 nm, połowy spektrometr Ramana **7** z detektorem **7.1** oraz układ przetwarzania i analizy widm z oprogramowanym procesorem komputera **9**. Laser **6** wyposażony w system stabilizacji temperatury i spektrometr Ramana **7** połączone są przez zwrotnicę sygnałów **8** kablem karotażowym **3** z sondą pomiarową **2**. Sonda pomiarowa **2** stanowi zestaw złożony z kolejno usytuowanych od góry: głowicy kabla **2.1**, obciążnika ołowianego **2.2**, obciążnika stalowego **2.3**, obciążnika wolframowego **2.4**, łącznika **2.5**, obudowy sondy Ramana **2.6** i głowicy sondy Ramana **2.7**. Wszystkie wymienione elementy zestawu sondy pomiarowej **2** do głowicy sondy Ramana **2.7** mają współosiowe otwory przez które doprowadzony jest kabel karotażowy **3**. Pełni on pełnię funkcje ciężaru obciążonego osiowo przez sondę pomiarową **2**, a jednocześnie jest przewodem akwizycji danych optycznego pomiaru właściwości gazu ziemnego. W koncentrycznym układzie zawiera kolejno od zewnątrz do środka: dwuwarstwowy oplot stalowy **3.1** wzmacniający wytrzymałość na rozciąganie ciężaru, izolację teflonową **3.2**, oplot z włókien miedzianych **3.3**, stalowy pancerz **3.4** o średnicy 1,25 mm wypełniony żelazem **3.5** zabezpieczającymi przed uszkodzeniem centralnie usytuowane cztery włókna światłowodowe wielodomowe. Jedno o średnicy 50 µm stanowi włókno światłowodowe promieniowania wzbudzenia **3.6a** a drugie o średnicy 62,5 µm o tłumieniu 0,2 dB/km włókno światłowodowe promieniowania rozproszenia **3.6b**. W sondę pomiarową **2** na ścianie drugiego obciążnika ołowianego **2.2** wbudowane są – nie uwidocznione na rysunku – czujniki temperatury i ciśnienia, których sygnały przesyłane są pozostałymi dwoma włóknami światłowodowymi **3.8** kabla karotażowego **3** do spektrometru Ramana **7** i komputera **9**. W głowicy sondy Ramana **2.7** wbudowane są tylko elementy optyczne zespołu optyki skupiającej promieniowanie wzbudzące lasera diodowego **6** emitowane z dolnego końca włókna światłowodowego promieniowania wzbudzenia **3.6a** oraz zespołu optyki zbiorczej promieniowania rozproszonego na próbce gazu – zwrotnie włóknem światłowodowym promieniowania rozproszenia **3.6b** doprowadzone do spektrometru Ramana **7** w samochodzie pomiarowym **5**.

Montaż sondy pomiarowej **2** rozpoczyna czynność usunięcia na długości 12 m od dolnego końca kabla karotażowego **3** części oplotu stalowego **3.1** z pozostawieniem 10 włókien oplotu które podłącza się do głowicy kabla **2.1**, na tym odcinku usuwa się również izolację teflonową **3.2** i oplot z włókien miedzianych **3.3** z pozostawieniem pancerza stalowego **3.4** okalającego cztery włókna światłowodowe. Połączenie włókien światłowodowych **3.6a** i **3.6b** kabla karotażowego **3** z włóknami głowicy sondy Ramana **2.7** wykonane jest przez złącza **3.7** typu FC/FC. Sygnały pomiarowe przesłane do spektrometru Ramana **7** przez włókna światłowodowe **3.6b** i **3.8** są przetwarzane w komputerze **9**, którego oprogramowanie realizuje algorytm numeryczny pozwalający na obliczanie ułamków molarnych składu płynu złożowego w odwiercie, węglowodoru lekkiego: CH<sub>3</sub>, OH, CC, HS i CO. Urządzenie rejestruje dane w czasie rzeczywistym na różnych głębokościach odwiertu.

## Wykaz oznaczeń na rysunku

1. Otwór wiertniczy
2. Sonda pomiarowa
  - 2.1 Głowica kabla
  - 2.2 Obciążnik ołowiany
  - 2.3 Obciążnik stalowy
  - 2.4 Obciążnik wolframowy
  - 2.5 Łącznik
  - 2.6 Obudowa sondy Ramana
  - 2.7 Głowica sondy Ramana
3. Kabel karotażowy
  - 3.1 Oplot stalowy
  - 3.2 Izolacja teflonowa
  - 3.3 Oplot z włókien miedzianych
  - 3.4 Stalowy pancerz
  - 3.5 Wypełnienie żelowe
  - 3.6a Włókno światłowodowe promieniowania wzbudzenia
  - 3.6b Włókno światłowodowe promieniowania rozproszenia
  - 3.7 Złącze FC/FC
  - 3.8 Przewody sygnałowe czujników temperatury i ciśnienia
4. Wyciągarka
5. Samochód pomiarowy
6. Laser diodowy
7. Spektrometr Ramana
  - 7.1 Detektor
8. Zwrotnica sygnałów
9. Komputer

**Zastrzeżenie patentowe**

1. **Urządzenie do wyznaczania składu gazu ziemnego w otworze wiertniczym, w warunkach „in situ”**, zawierające spektrometr Ramana (7), laser diodowy (6) z wbudowanym systemem stabilizacji temperatury i emitujący promieniowanie o długości fali większej od 700 nm oraz oprogramowany komputer (9) z nośnikiem pamięci, które usytuowane są na samochodzie pomiarowym (5) z wyciągarką (4) kabla karotażowego (3) połączonego na końcu z sondą pomiarową (2) opuszczaną do otworu wiertniczego (1) na głębokość pomiaru oraz wyposażoną w czujnik temperatury i ciśnienia, które połączone są ze spektrometrem Ramana (7) i komputerem (9) za pomocą przewodów sygnałowych, wbudowanych w kabel karotażowy (3), a spektrometr Ramana (7) z detektorem (7.1) również połączony jest z komputerem (9) **znamiennie tym**, że kabel karotażowy (3) o budowie koncentrycznej posiada oplot stalowy (3.1) i co najmniej dwa włókna światłowodowe (3.6a, 3.6b) usytuowane w jego osi i łączące optyczną głowicę sondy Ramana (2.7) odpowiednio z laserem diodowym (6) i spektrometrem Ramana (7), przy czym kabel karotażowy (3), na długości sondy pomiarowej (2) i przed punktem połączenia włókien światłowodowych (3.6a i 3.6b) z głowicą sondy Ramana (2.7), jest pozbawiony oplotu stalowego (3.1) i oplotu z włókien miedzianych (3.3), a na stalowym pancerzu (3.4) stanowiącym ochronę włókien światłowodowych (3.6a i 3.6b) są luźno nawleczone obciążniki (2.2, 2.3 i 2.4), wykonane z materiałów o różnych gęstościach, oraz o ciężarze łącznym równoważącym parcie ciśnienia dennego w otworze wiertniczym (1).

Rysunki

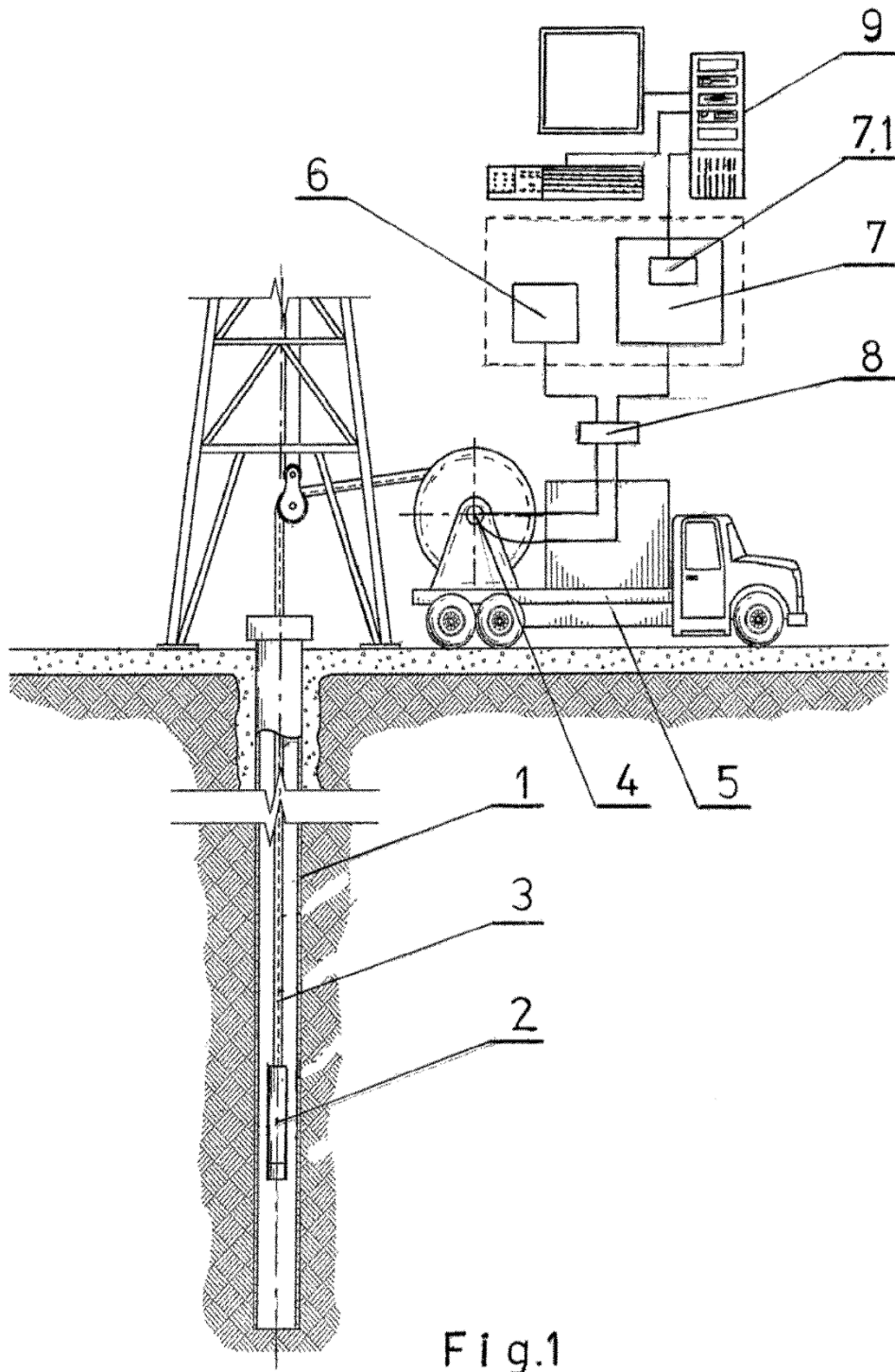


Fig.1

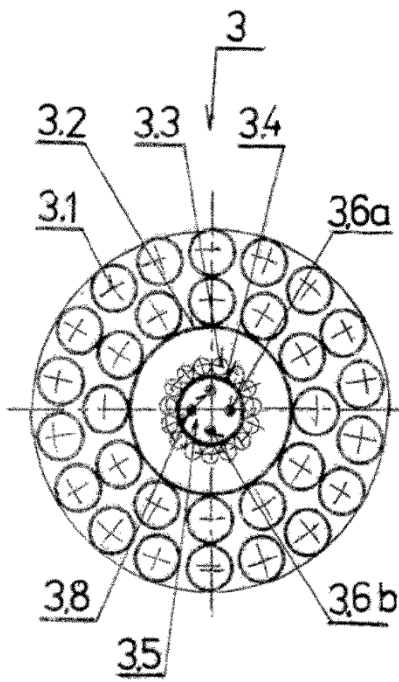


Fig. 2

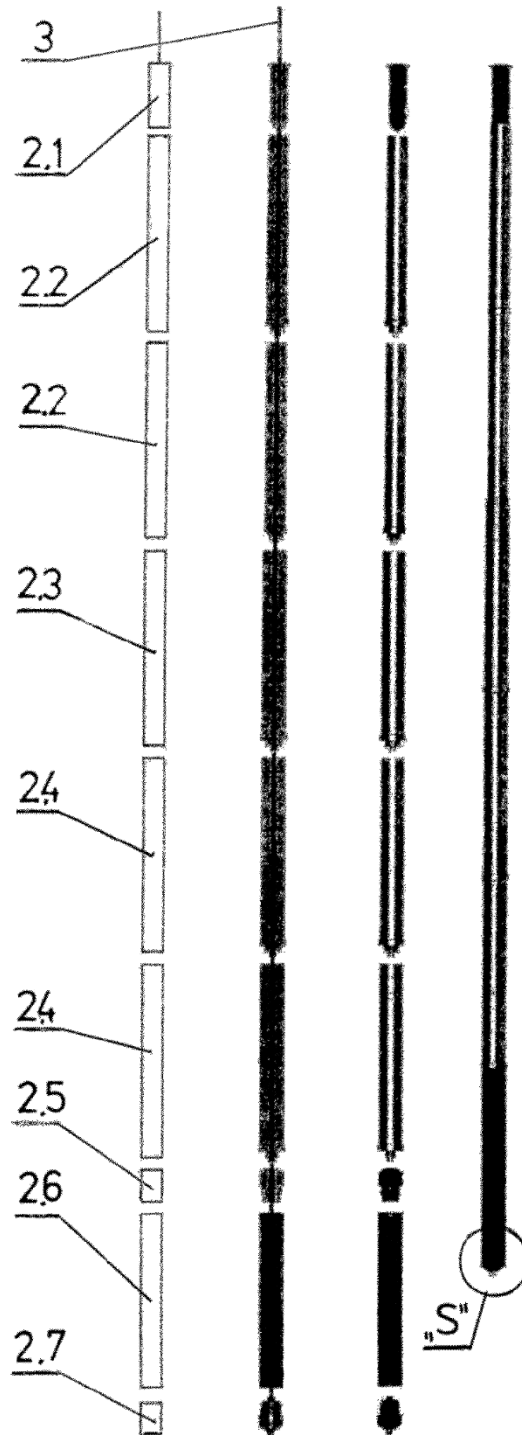


Fig.3a F.3b F.3c F.3d

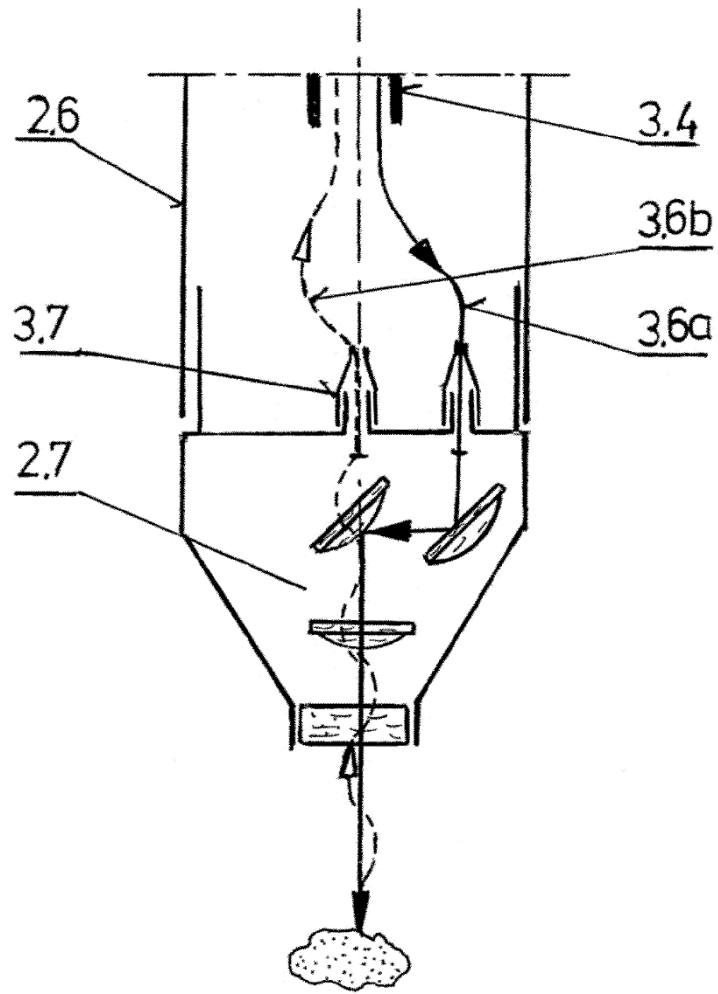


Fig.4