

Mieczysław LECH

Politechnika Wroclawska
Instytut Techniki Ciepłej
i Mechaniki Płynów

NOWA METODA IDENTYFIKACJI PRZEPLYWU W TRANSPORCIE PNEUMATYCZNYM PYŁU

Streszczenie. Obecnie do pomiarów identyfikacyjnych przepływu mieszanin pyłowo-gazowych najpowszechniej stosowana jest metoda izokinetycznego odsysania próbki mieszaniny z wielu punktów przekroju pomiarowego. Niewątpliwą zaletą metody jest prosta aparatura pomiarowa. Poważnymi wadami natomiast są dość duże błędy pomiarowe, zwłaszcza w odniesieniu do przepływów charakteryzujących się fluktuacjami koncentracji pyłu, duża pracochłonność i czasochłonność pomiarów oraz konieczność odrębnego przygotowania ostatecznych wyników.

Opracowano nową metodę pomiarową, której zasada polega na ciągłym pomiarze ilości odessanego gazu i odseparowanego pyłu. Elektryczne sygnały proporcjonalne do tych wielkości dzielone są w układzie elektronicznym dając na wyjściu sygnał proporcjonalny do aktualnie mierzonej koncentracji pyłu. Poprzez zastosowanie przetwornika liniowego przesuwu sondy pomiarowej na sygnał elektryczny można uzyskać wyniki pomiarów wprost w formie wykresów rozkładu koncentracji pyłu lub prędkości przepływu w przekroju pomiarowym.

Głównym i zarazem najtrudniejszym zadaniem identyfikacji przepływu mieszaniny dwufazowej w przewodzie zamkniętym jest pomiar rozkładu prędkości przepływu i koncentracji pyłu w przekroju pomiarowym. Obecnie stosowaną rutynowo do pomiarów rozkładu prędkości jest metoda pomiaru ciśnień dynamicznych w wybranych punktach przekroju, a następnie obliczanie prędkości przepływu.

W odniesieniu do pomiarów rozkładów koncentracji używana jest powszechnie metoda izokinetycznego odsysania próbki mieszaniny pyłowo-gazowej z odpowiednio wybranych punktów przekroju [1].

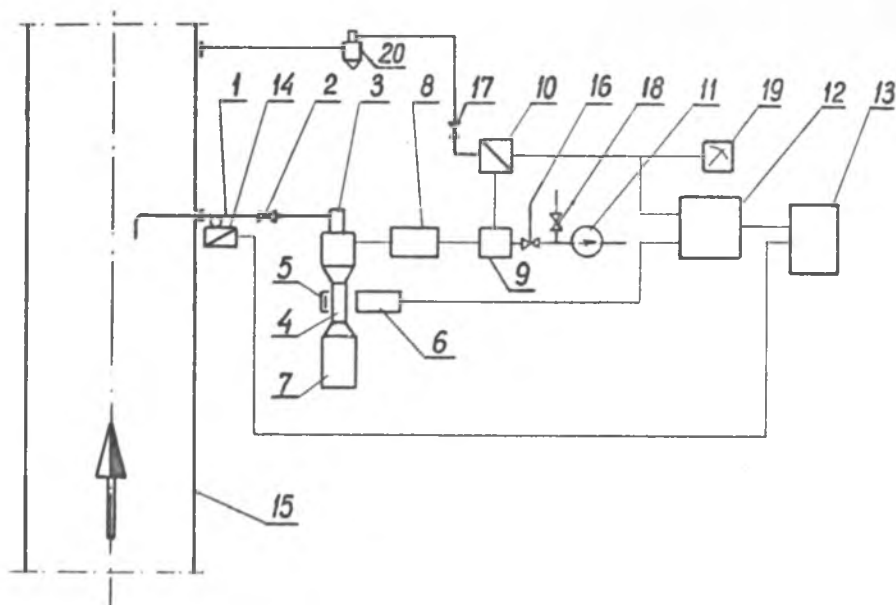
W urządzeniu separującym oddziela się pył od gazu, a następnie dokonuje się pomiaru masy pyłu i masy gazu. Koncentracja pyłu określana jest stosunkiem masy odseparowanego pyłu m_g do masy gazu m_g :

$$Y = \frac{m_g}{m_g} , \quad /1/$$

Ostateczne wyniki pomiarów w poszczególnych punktach oraz wykresy rozkładu koncentracji i prędkości przygotowywane są odrębnie. Stosowana aparatura pomiarowa jest dość prosta, co jest zaletą metody. Wadą jest czasochłonność i pracochłonność oraz konieczność odrębnego przygotowywania ostatecznych wyników.

Błędy pomiarów ze względu na dyskretność wyników są dość duże, zwłaszcza przy małej liczbie punktów pomiarowych, które niedokładnie odwzorowują rzeczywiste rozkłady. Duża liczba punktów pomiarowych prowadzi do zmniejszenia błędów pomiaru dla przepływów o stabilnym rozkładzie prędkości lub koncentracji oraz do wydłużenia czasu pomiarów. Wydłużenie globalnego czasu pomiarów dla przepływów o zmiennym profilu rozkładu koncentracji lub prędkości w czasie, prowadzi do zwiększenia błędów pomiarów. Błędy pomiarów dokonywanych metodą izokinetycznego odsysania są duże i dla określenia koncentracji średniej nawet przy dużej liczbie punktów pomiarowych wynoszą $\pm 15 - 20\%$ [2].

Zaproponowana metoda radioizotopowa [3] pozwala na szybki pomiar rozkładu koncentracji, zaś wynik pomiaru uzyskuje się wprost w formie wykreślnej lub bezpośrednich odczytów. Na rysunku 1 przedstawiony jest schemat blokowy aparatury. Pomiarową sondę 1 umieszcza się w rurociągu 15, przez który przepływa mieszanina pyłowo-gazowa i zmienia się jej położenie wzdłuż średnicy przekroju pomiarowego. Po uruchomieniu ssawy 11 i otwarciu odcinającego zaworu 2 przy otwartym zaworze 16 i zamkniętym 17 mieszanina pyłowo-gazowa zasysana z rurociągu 15, dostaje się do separatora 3, gdzie następuje oddzielenie pyłu od czynnika nośnego. Pył opada przez kanał pomiarowy koncentratora 4 do zbiornika 7, a ilość



Rys.1. Schemat radioizotopowej aparatury do pomiaru rozkładu koncentracji pyłu

opadającego pyłu jest mierzona przez radioizotopowy miernik 6. Gaz opuszczający separator 3 przepływa przez filtr zabezpieczający 8, a jego ilość mierzona jest przez miernik 9. Sygnał wyjściowy przetwornika 10, współpracującego z miernikiem 9, jest proporcjonalny do ilości zasysanego przez sondę 1 gazu, a sygnał wyjściowy radioizotopowego miernika 6 jest proporcjonalny do ilości pyłu zawartego w mieszaninie zasysanej przez sondę 1. Sygnały te podawane są na ilorazowy układ 12, którego sygnał wyjściowy jest proporcjonalny do koncentracji pyłu w zasysanej mieszaninie zgodnie z równaniem /1/. Miernik odchyłowy rejestratora 13 wskazuje chwilową wartość koncentracji, natomiast dzięki sprzężeniu układu napędowego taśmy rejestratora 13 z przetwornikiem 14 przesunięcia liniowego, każdemu przemieszczeniu sondy 1 w rurociągu 15 odpowiada przesunięcie taśmy rejestratora 13. W wyniku tego na taśmie rejestratora 13

otrzymuje się wykres rozkładu koncentracji pyłu w mieszaninie wzdłuż drogi sondowania. Zamiast specjalnego rejestratora 13 można zastosować typowy małowabarytowy rejestrator X-y.

Prędkość odsysania mieszaniny pyłowo-powietrznej z rurociągu reguluje się za pomocą stopnia otwarcia zaworu 18, umieszczonego na króćcu ssawnym ssawy.

Przedstawione nowe urządzenie realizuje automatyczny pomiar chwilowych wartości koncentracji pyłu w mieszaninie pyłowo-gazowej oraz rejestruje rozkład tej koncentracji w przekroju pomiarowym. Zautomatyzowanie pomiarów skraca bardzo znacznie czas ich wykonania oraz podnosi dokładność pomiarów.

Pomiarów rozkładów prędkości dokonuje się przy otwartym zaworze 2 oraz 17, umieszczonym na przewodzie ciśnienia statycznego w rurociągu a zamkniętym zaworze 16. Jeden z przewodów różnicy ciśnień, wytworzonej na pierwotnym przetworniku 9, odłącza się od przetwornika 10 i zamyka. Wolny króciec przetwornika 10 łączy się z przewodem ciśnienia statycznego poprzez cyklonik pomiarowy 20. Zamiast sygnału z układu ilorazowego 12 podajemy na rejestrator 13 sygnał bezpośredni z przetwornika 10, który przetwarza wówczas sygnał ciśnienia dynamicznego p_d jako różnicę ciśnienia całkowitego i statycznego na analogowy sygnał elektryczny. Sygnał ten z pierwiastkującego przetwornika 10 jest zatem wprost proporcjonalny do prędkości przepływu W , która ze stałym współczynnikiem proporcjonalności B , zależnym od warunków konstrukcyjnych sondy pomiarowej i gęstości czynnika gazowego w rurociągu, jest odwzorowywana na rejestratorze w funkcji liniowego przesunięcia sondy pomiarowej w rurociągu

$$W = \sqrt{\frac{2p_d}{\rho}} = \sqrt{2} \beta \sqrt{\frac{p_d}{\rho}} = B \sqrt{\frac{p_d}{\rho}} \quad /2/$$

Wartość B obliczana jest dla znanej wartości współczynnika β elementu piętującego, jakim jest sonda pomiarowa oraz dla znanych parametrów termodynamicznych przepływającego czynnika.

Zasada pomiaru rozkładu prędkości jest dość prosta, natomiast omówienia wymaga sposób pomiaru rozkładu koncentracji. Odsysanie mieszaniny pyłowo-powietrznej z założenia ma być izokinetyczne. W tym celu przekrój sondy lub pierwotny przetwornik 9 są tak dobrane, że przy zasysaniu izokinetycznym, to znaczy z prędkością równą prędkości przepływu czynnika w przewodzie, strumień zasysanego gazu wytwarza na pierwotnym przetworniku 9 różnicę ciśnień równą co do wielkości ciśnieniu dynamicznemu przepływającego czynnika w przewodzie. Strumień masy odsysanego gazu, mierzony za pomocą zwężki, wyznaczany jest ze znanego równania: [4]

$$\dot{m}_g = 0,01252 \cdot \lambda \cdot \varepsilon \cdot d_t^2 \sqrt{\Delta P \cdot \rho} = C \sqrt{\Delta P \cdot \rho} \quad /3/$$

i jednocześnie:

$$\dot{m}_g = A_s \cdot \rho \cdot w = A_s B \sqrt{P_d \cdot \rho},$$

gdzie:

- λ - liczba przepływu,
- ε - liczba ekspansji,
- d_t - średnica przeswitu zwężki,
- A_s - przekrój sondy pomiarowej,

zatem warunkiem doboru zwężki pomiarowej lub przekroju sondy jest równość stałych $B=C$.

Przy dokonywaniu pomiarów tak reguluje się stopień otwarcia zaworu 18 a przez to strumień zasysanego gazu \dot{m}_g , aby dla danego położenia sondy pomiarowej zachodziła równość uprzednio zarejestrowanej wartości sygnału

$J_w \sim \sqrt{p_d}$ oraz odczytanej ze wskaźnika 19 wartości $J_g \sim \sqrt{\Delta P}$. Powyższe nie nastręcza żadnych trudności przy

rejestracji rozkładów za pomocą rejestratora x-y, dokonując na tym samym papierze milimetrowym obydwu rozkładów prędkości i koncentracji. Osobnego omówienia wymaga kanał pomiarowy koncentratora /rys.1/. Ilość odsysanej izokinetycznie z rurociągu mieszaniny pyłowo-gazowej, płynącej w rurociągu z prędkości W , za pomocą sondy o przekroju A_s , wynosi:

$$V_{sg} = W A_s . \quad /4/$$

Chwilowa wartość mierzonej koncentracji określona jest z zależności:

$$Y = \frac{\dot{m}_s}{\dot{m}_g} , \quad /5/$$

gdzie \dot{m}_s i \dot{m}_g są chwilowymi wartościami strumieni masy pyłu i gazu odsysanego z rurociągu.

Zakładając stałą prędkość opadania pyłu W_{sk} w kanale koncentratora o długości l i przekroju poprzecznym A_k obliczamy koncentrację pyłu w kanale:

$$Y_k = \frac{m_{sk}}{m_{gk}} = \frac{m_{sk}}{A_k l \rho_{gk}} , \quad /6/$$

gdzie m_{sk} jest masą pyłu zawartą w kanale koncentratora, zaś m_{gk} jest masą gazu o gęstości ρ_{gk} - zawartą w tym kanale.

Dzieląc licznik i mianownik równania /6/ przez czas pomiaru otrzymamy:

$$Y_k = \frac{\dot{m}_{sk}}{W_{sk} A_k \rho_{gk}} , \quad /7/$$

gdzie \dot{m}_{sk} jest strumieniem masy pyłu opadającego przez kanał koncentratora.

Interesujący jest iloraz koncentracji w kanale koncentratora Y_k i koncentracji w rurociągu Y , zwany dalej stosunkiem koncentracji K . Zakładając $\dot{m}_{sk} = \dot{m}_s$, co oznacza, że cała ilość odsysanego pyłu jest odseparowana w separatorze, stosunek koncentracji obliczymy z równania:

$$K = \frac{Y_k}{Y} = \frac{A_s W \rho_g}{A_k W_{sk} \rho_{gk}} , \quad /8/$$

gdzie ρ_g jest gęstością gazu w przewodzie.

Ponieważ zarówno przekrój sondy i kanału koncentratora jak i gęstość gazu w sondzie i kanale niewiele się różnią, można w przybliżeniu założyć:

$$A_s \rho_g = A_k \rho_{gk} \cdot$$

Stosunek koncentracji jest zatem w głównej mierze zależny od stosunku prędkości przepływu mieszaniny pyłowo-gazowej w przewodzie i prędkości opadania pyłu w kanale koncentratora:

$$K = \frac{W}{W_{sk}} \quad /9/$$

Duża wartość K, około 30-60, jest podstawą realizacji opisywanej metody pomiarowej. W pomiarach radioizotopowych osłabienie promieniowania przez absorbent zależy jest od jego masy przypadającej na jednostkę powierzchni przenikanej przez promieniowanie, czyli od masy powierzchniowej absorbenta, obliczonej jako iloczyn jego gęstości i grubości.

W przypadku osłabienia promieniowania przez pył opadający kanałem koncentratora masę powierzchniową pyłu d_s obliczymy:

$$d_s = Y_k \rho_{gk} d \quad /10/$$

gdzie d jest średnim wymiarem przekroju poprzecznego kanału koncentratora wzdłuż drogi wiązki promieniowania. W przypadku kanału koncentratora o przekroju okrągłym o średnicy d_k oraz wiązki promieniowania obejmującej całą szerokość kanału wartość d obliczymy z równości:

$$d_k d = \frac{\sqrt{4}}{4} d_k^2, \text{ stąd } d = \frac{\sqrt{4}}{4} d_k \quad /11/$$

Uzależniając masę powierzchniową pyłu od strumienia masy pyłu opadającego kanałem koncentratora, wykorzystując równanie /7/ oraz /11/ otrzymamy:

$$d_s = \frac{\dot{m}_{sk}}{W_{sk}} \frac{1}{d_k} \quad /12/$$

Zgodnie z równaniem /12/ przy założonej stałej prędkości opadania pyłu W_{sk} , dla danej średnicy kanału koncentratora d_k , masa powierzchniowa opadającego pyłu d_s jest liniową zależnością strumienia masy pyłu \dot{m}_{sk} .

Oslabienie promieniowania jonizującego przenikającego strumień odpadającego pyłu w kanale koncentratora obliczymy ze znanej zależności:

$$N/N_0 = e^{-\mu_s \cdot d_s}, \quad /13/$$

gdzie:

N i N_0 - liczba zarejestrowanych cząstek jonizujących podczas opadania pyłu i bez opadającego pyłu,

μ_s - masowy współczynnik osłabienia promieniowania.

Wykorzystując zależności /12/ i /13/ możemy napisać:

$$\dot{m}_{sk} = \frac{d_k W_{sk}}{\mu_s} \ln N_0/N, \quad /14/$$

zaś wykorzystując zależności /7,8,10,11/ otrzymamy równanie do obliczenia mierzonej wartości Y :

$$Y = \frac{4 \ln N_0/N \cdot A_k W_{sk}}{\mu_s A_s W_g \sqrt{d_k}}. \quad /15/$$

Pomijając dociekanie zawarte w [5] należy zauważyć, że minimalny błąd pomiaru d_s przy wykorzystaniu osłabienia promieniowania opisanego równaniem /13/ występuje dla iloczynu $\mu_s \cdot d_s = \ln N_0/N = 1$, dla rozważanej aparatury, gdzie błąd aparaturowy jest przeważający i decyduje o całkowitym błędzie pomiaru.

Analizując praktycznie spotykane wartości d_s wybrano do realizacji pomiarów izotopy beta promieniowania, dla których wartości masowych współczynników osłabienia promieniowania oblicza się z zależności podanych przez [6]:

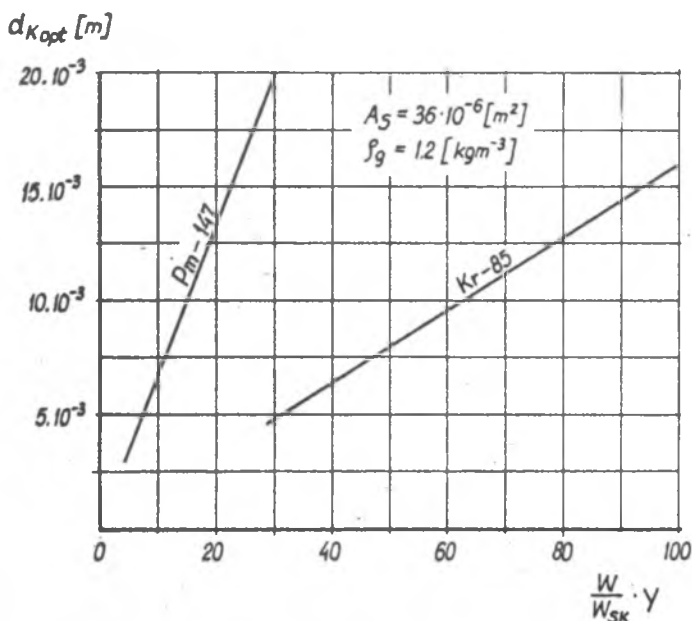
$$\mu_s = 2,2 E_{\max}^{-1,33} \quad /16/$$

Zakładając stałą geometrię radioizotopowego układu pomiarowego, przekrój sondy $A_s = 36 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$, stały sto-

sunek W/W_{sk} oraz gęstość gazu w przewodzie $\rho_g = 1,2 \text{ kgm}^{-3}$ korzystając z równania /15/ napiszemy równanie pozwalające na obliczenie optymalnej średnicy kanału koncentratora $d_{k \text{ opt}}$ dla danej koncentracji Y w przewodzie i rodzaju użytego w pomiarach promieniotwórczego izotopu:

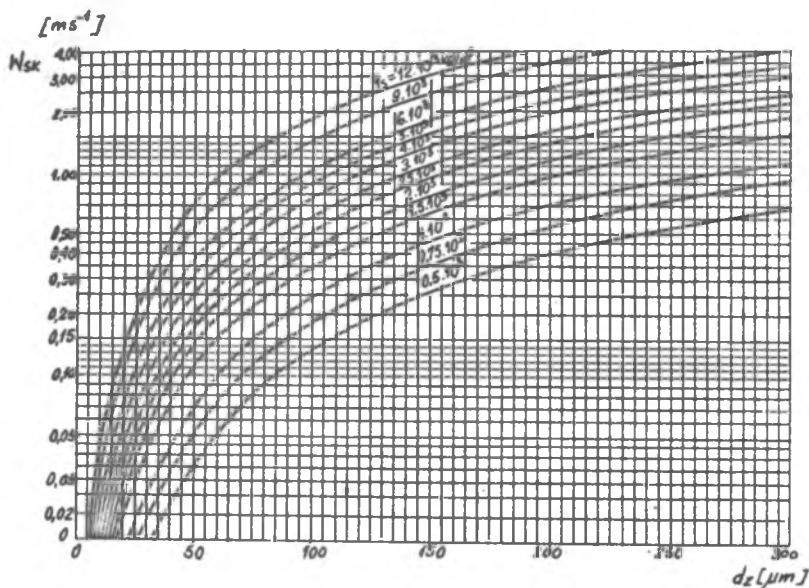
$$d_{k \text{ opt}} = 0,95 \cdot 10^{-4} \frac{W}{W_{sk}} E_{\text{max}}^{-1,33} \text{ Y.} \quad /17/$$

Równanie /17/ przedstawiono w formie wykresalnej na rys.2 dla dwóch najpowszechniej używanych w pomiarach izotopów beta promieniotwórczych, Promet-147 o energii maksymalnej emitowanych cząstek beta $E_{\text{max}} = 0,23 \text{ MeV}$ oraz krypton 85 o $E_{\text{max}} = 0,67 \text{ MeV}$.



Rys.2. Zależność średnicy rurki koncentratora od iloczynu stosunku prędkości i koncentracji pyłu

Przy ogólnie znanej średniej średnicy cząstek transportowanego pyłu d_z i jego gęstości rzeczywistej ρ_B z rys.3, zaozercpniętego z [1], określimy prędkość opa-



Rys.3. Prędkość opadania pyłu w funkcji średnicy ziarn, dla danej gęstości rzeczywistej pyłu

dania pyłu W_{sk} , a następnie z rys.2 dla znanej wartości prędkości przepływu w przewodzie W i średniej koncentracji Y określimy optymalną średnicę rurki koncentratora $d_{k\ opt}$, wybierając jednocześnie izotop promieniotwórczy, jaki powinien być użyty w pomiarach. Aparatura jest tak przygotowana, że istnieje łatwość szybkiej wymiany rurki koncentratora na rurkę o optymalnej średnicy.

Trudne ze względów technologicznych okazało się opracowanie rurki opadowej koncentratora oraz radioizotopowej głowicy pomiarowej.

Wstępne wyniki badań nowej metody są bardzo obiecujące, co stanowi podstawę, by sądzić, że wymieniona metoda stanowić będzie nowe narzędzia służące do identyfikacji przepływów dwufazowych.

LITERATURA

- [1] E.Ryszka: Pomiarzy zapylenia gazów w przewodach. Wydawnictwo "Śląsk", Katowice 1969.

- [2] L.Rado: Die Konzentration und die Mahlfeinheit des Kohlenstaubes in Fördereleitungen von Einblasemühlen insbesondere ihre zeitliche Änderung. Mitt. VGB, 4, 105, 1966.
- [3] M.Lech: Radioizotopowe urządzenie do pomiaru rozkładu koncentracji fazy stałej w mieszaninach wielofazowych. Patent tymczasowy Nr P-184381.
- [4] Pomiar natężenia przepływu płynów za pomocą zwęzek, PN-65/M-53950.
- [5] M.Lech: Radioizotopowy pomiar koncentracji pyłu w mieszaninie pyłowo-powietrznej przepływającej rurą ciągiem zamkniętym, Praca doktorska Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1973.
- [6] N.N.Szumilowski, J.P.Bietin i inni: Fiziczeskije i Fizikochimiczeskije metody kontrola sostawa i swojstw wieszczestwa. Radioizotopnyje i rentgenospektalnyje metody, Izdatielstwo Energija, Moskwa 1965.

НОВЫЙ МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРОПЛЫВА В ПНЕВМАТИЧЕСКОМ ТРАНСПОРТЕ ПЫЛИ

Р е з ю м е

Разработано новый метод измерений, базирующий на непрерывном измерении количества отсасываемого газа и отсепарированной пыли. Электрические сигналы, пропорциональные этим величинам, делаются электронной системой и на выходе одерживается сигнал, пропорциональный актуально замеряемой концентрации пыли.

Путём применения линейного преобразователя перемещения измерительного зонда на электрический сигнал, результаты измерений могут быть выведены непосредственно в форме диаграмм распределения концентрации пыли или скорости проплыва в данном измерительном сечении.

A NEW METHOD OF FLOW IDENTIFICATION FOR PNEUMATIC TRANSPORT OF DUST

S u m m a r y

A new measurement has been developed which bases on continuous measurement of sucked - in gas and dust separated from it. Electrical signal proportional to these values are divided on output giving a signal proportional to actual concentration of dust. Using linear converter of probe movemen one can obtain final results in a form of dust concentration distribution curves or flow velocity curves in given measurement cross-section.