

Januariusz GÓRECKI

Politechnika Wrocławska
Instytut Techniki Ciepłej
i Mechaniki Płynów

METODY OCENY ZAGROŻENIA POŻAROWO-WYBUCHOWEGO UKŁADÓW TRANSPORTU PNEUMATYCZNEGO

Streszczenie. Opracowanie zawiera przegląd metod badania właściwości pożarowo-wybuchowych pyłów oraz podaje kierunki badań mających na celu zmniejszenie zagrożenia wybuchowego oraz przeciwdziałanie wybuchom lub skutkom wybuchów w układach transportu pneumatycznego materiałów sypkich

1. Wstęp

Dynamiczny rozwój przemysłu związany jest między innymi z rozwojem transportu pneumatycznego pyłów. Istnieje wiele przemysłów np. przemysł spożywczy, przemysł lekki, przemysł cementowy, gdzie transport pneumatyczny pyłów jest jednym z podstawowych zagadnień technologicznych. Fakt występowania palnych pyłów w mieszaninie z powietrzem /rzadziej w mieszaninie ze spalinami lub innymi gazami/ jest przyczyną zagrożenia pożarowego lub wybuchowego układów transportujących.

Profilaktyka mająca na celu zwiększenie niezawodności i bezpieczeństwa pracy takich układów zmierza w kierunku zabezpieczeń przed pożarami lub wybuchami oraz w kierunku zabezpieczeń przed skutkami zaistniałych wybuchów. W celu umożliwienia rozwiązania powyższych problemów muszą być prowadzone laboratoryjne lub poligonowe prace badawcze mające na celu poznanie właściwości pożarowo-wybuchowych transportowanych pyłów oraz prace badawcze dające podstawy do opracowania metod i układów zmniejszających zagrożenie pożarowo-wybuchowe lub zabezpieczających przed skutkami wybuchów.

2. Badania właściwości pożarowo-wybuchowych pyłów

Istnieje szereg parametrów charakteryzujących właściwości pożarowo-wybuchowe pyłów. W Instytucie Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów Politechniki Wrocławskiej prowadzone są badania określające:

- temperaturę zapłonu lub samozapłonu pyłów lub mieszanin pyłowo-powietrznych,
- dolne graniczne stężenia wybuchowe mieszanin pyłowo-powietrznych,
- maksymalne ciśnienia oraz szybkości narastania ciśnień po wybuchu mieszaniny,
- zjawisko elektryzowania się pyłów oraz gromadzenia ładunków w pneumatycznych układach transportu materiałów sypkich.

2.1. Badania temperatur lub samozapłonu pyłów

Badania te obejmują:

- oznaczenie temperatur zapłonu produktów termicznego rozkładu pyłów,
- oznaczenie temperatur samozapłonu osadów pyłowych,
- oznaczenie temperatur samozapłonu mieszanin pyłowo-powietrznych.

Przy badaniu temperatur samozapłonu określa się temperaturę którą S. Hulaniczki [1] i autor [2] nazwali "najwyższą bezpieczną temperaturą" - T_0 .

Zależność temperatury T_0 od temperatury samozapłonu T oraz czasu nagrzewania próbki τ można określić z wzoru:

$$T = T_0 \cdot e^{\frac{c}{\tau}} \quad /1/$$

gdzie:

c - jest stałą zależną głównie od właściwości fizycznych materiału próbki.

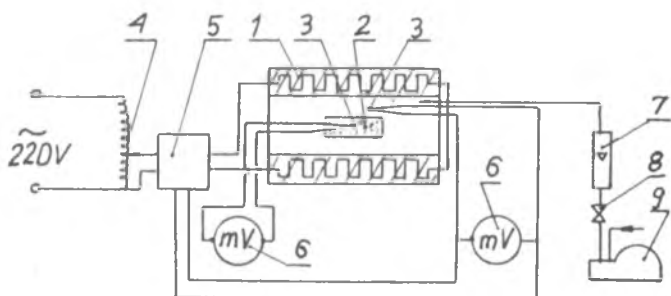
Równanie to po zlogarytmowaniu przybiera postać:

$$\ln T = \ln T_0 + \frac{c}{\tau} \quad /2/$$

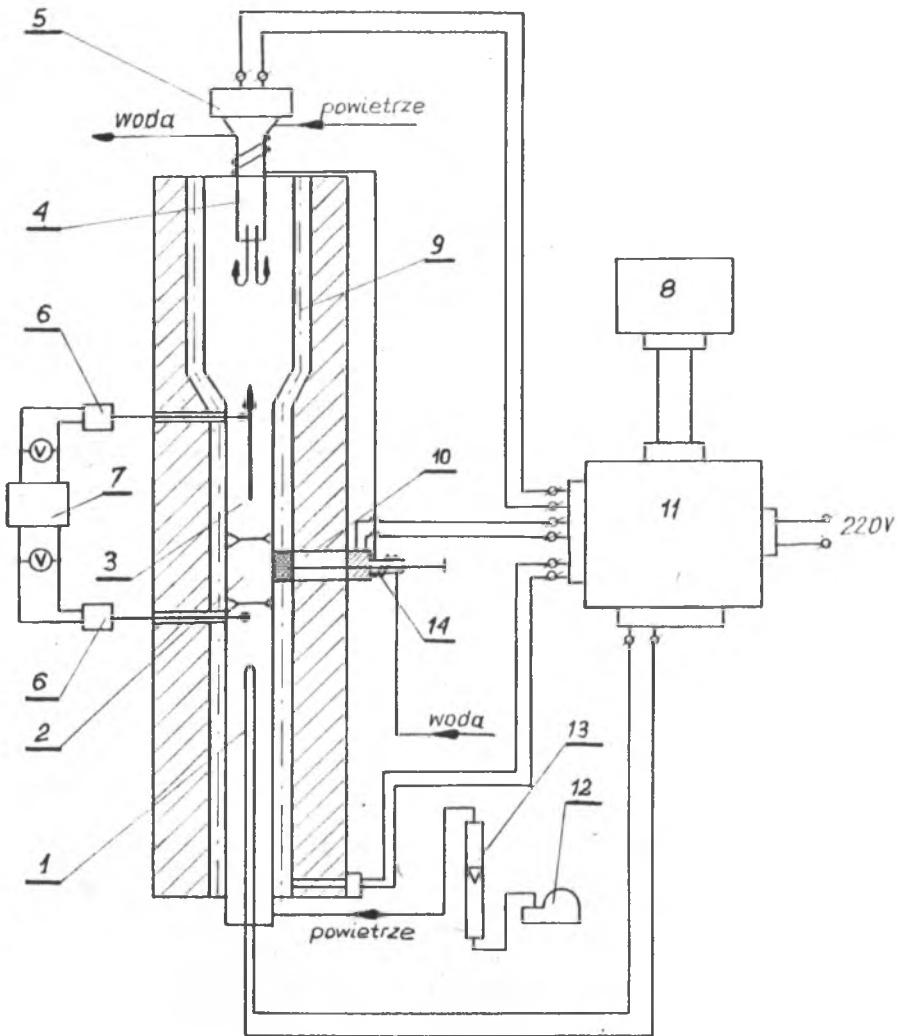
Wykreślona zależność temperatury samozapłonu od czasu nagrzewania pyłu w układzie $\ln T = f\left(\frac{1}{\tau}\right)$ jest linią prostą.

Na wykresie tym kąt nachylenia zależy od wartości c , natomiast punkt przecięcia prostej z osią logarytmów naturalnych określa wartość temperatury samozapłonu T_0 przy nieskończone długim czasie nagrzewania, czyli najwyższą temperaturę bezpieczną.

Zmiana np. rozdrobnienia pyłu, jego wilgotność, zawartość popiołu itp. wpływa na wartość stałej c - zmieniając kąt nachylenia, nie zmienia natomiast położenia punktu T_0 . Temperatura zapłonu produktów termicznego rozkładu oznaczona jest zgodnie z PN-69/C-89022. Poniżej na rys. 1 i 2 przedstawiono schematy aparatur stosowanych do oznaczenia temperatur samozapłonu osadów i mieszanin pyłowo-powietrznych.



Rys.1. Schemat aparatury do określania temperatur samozapłonu osadów pyłowych
1-piec grzewczy, 2-pojemnik z próbką pyłu, 3-termoelement, 4-autotransformator, 5-zestaw regulatorów temperatury, 6-miliwoltomierz, 7-rotametr, 8-zawór regulacyjny przepływu powietrza, 9-sprężarka



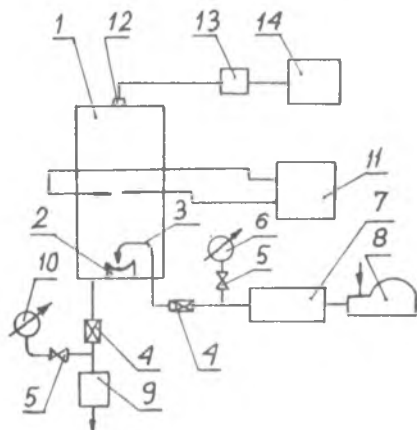
Rys.2. Schemat aparatury do określania temperatur samozapłonu mieszanin pyłowo-gazowych
 1-podgrzewacz powietrza, 2-komora dozownika aerozolu, 3-komora spalania, 4-dmuchawa, 5-fotokomórka, 6-termoelement, 7-miernik temperatury, 8-elektryczny licznik czasu, 9-spirala grzejna, 10-dozownik pyłu, 11-szafa sterowniczo-regulacyjna, 12-sprężarka, 13-rotametr, 14-chłodzenie wodne

W czasie pomiaru temperatur samozapłonu mierzony jest czas nagrzewania pyłu - od momentu umieszczenia go w aparaturze badawczej do chwili pojawienia się płomienia lub gwałtownego wzrostu temperatury próbki.

Badania takie powtarzane są dla kilku temperatur inicjujących samozapłon w celu umożliwienia wyznaczenia zależności $T = f(\tau)$ oraz wyznaczenie temperatury T_0 .

2.2. Badania dolnych granicznych stężeń wybuchowych mieszanin pyłowo-powietrznych

Istnieje wiele metod oznaczania powyższego parametru np. [3], [4], [5], [6], [7]. W Instytucie TCiMP Politechniki Wrocławskiej po przeprowadzeniu rozmów konsultacyjnych ze współpracującymi ośrodkami zdecydowano się stosować aparaturę, której schemat przedstawiono na rys 3.



Rys.3. Schemat aparatury do określania dolnych granicznych stężeń wybuchowych, szybkości wzrastania ciśnień oraz ciśnień po wybuchu mieszaniny pyłowo-gazowej
 1-komor. spalania, 2-dozownik pyłu,
 3-przewód doprowadzający sprężone powietrze,
 4-zawór elektromagnetyczny, 5-zawór, 6-ma-
 nometr, 7-zbiornik sprężonego powietrza,
 8-sprężarka, 9-pompa próżniowa, 10-próż-
 niomierz, 11-układ zapłonowy, 12-czujnik
 ciśnienia, 13-wzmacniacz, 14-układ rejestr-
 ujący ciśnienie.

W aparaturze tej próbkę pyłu rozdmuchuje się sprężonym powietrzem. Rodzaj zapłonu wytworzonej w aparaturze mieszaniny dostosowany jest do zapalności pyłu. Praktycznie najczęściej stosowany jest zapłon iskrowy. Stężenie wybuchowe określa się znając masę próbki pyłu oraz objętość komory wybuchowej.

2.3. B a d a n i a c i ś n i e ń i s z y b k o ś c i n a r a s t a n i a c i ś n i e ń p o w y b u c h u

Sposób wytwarzania mieszaniny pyłowo-powietrznej oraz inicjowanie zapłonu jest taki sam jak przy oznaczaniu stężeń wybuchowych /rys.3/. Układ pomiarowy zaopatrzony jest dodatkowo w ciśnieniowe czujniki piezoelektryczne, które wraz z dostosowanym do współpracy z nim układem pomiarowym mierzą ciśnienia i szybkości zmian ciśnień w czasie pomiaru.

2.4. B a d a n i a e l e k t r y c z n o ś c i w u k ł a d a c h t r a n s p o r t u p n e u m a t y c z n e g o

Zakres badań w tym zakresie obejmuje:

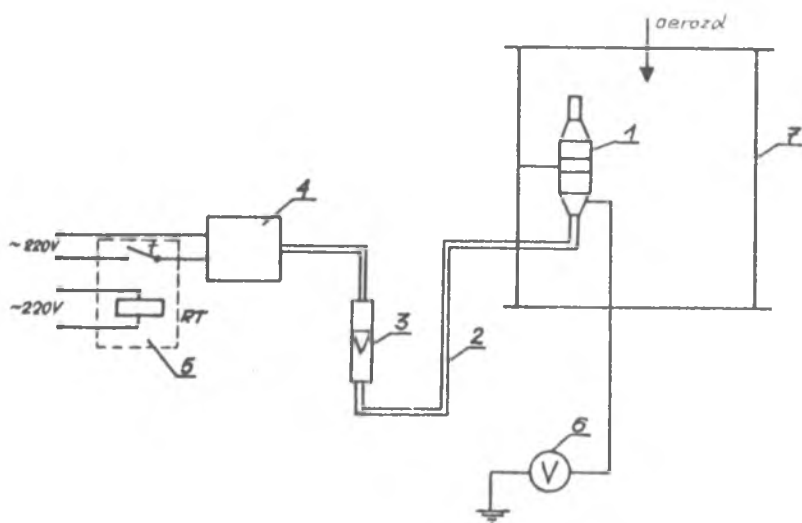
- określenie granicznych wartości ładunków elektrycznych powstających w instalacjach transportu pneumatycznego,
- określenie maksymalnej energii wyładowań iskrowych elektryczności statycznej w instalacjach przemysłowych.

2.4.1. B a d a n i e g r a n i c z n y c h w a r t o ś c i ł a d u n k ó w e l e k t r y c z n y c h p o w s t a j ą c y c h w i n s t a l a c j a c h t r a n s p o r t u p n e u m a t y c z n e g o

Badania te obejmują:

- pomiar rezystywności pyłów,
- określenie wartości ładunku elektrostatycznego powstającego w czasie transportu pneumatycznego,
- pomiar prądu płynącego w obwodzie, element instalacji - ziemia.

Rezystywność pyłu określana jest w komorze pomiarowej wykonanej specjalnie do tych badań [6]. Rezystywność pyłów określana jest przy ustalonej wilgotności i stopniu sprasowania pyłu. Wartości ładunków elektrostatycznych powstających w czasie transportu pneumatycznego określone są w układzie pomiarowym pokazanym na rys.4.



Rys.4. Schemat aparatury do badania wielkości ładunku elektrostatycznego materiałów sypkich w transporcie pneumatycznym
1-przyrząd do pomiaru ładunku, 2-przewód gumowy, 3-rotametr, 4-pompa ssąca, 5-przełącznik czasowy, 6-woltomierz elektrostatyczny, 7-badany obiekt

Zasada pomiaru oparta jest na określeniu sumarycznego ładunku i masy cząstek pyłu zasysanych przez aparaturę i zatrzymywanych na filtrze. Ładunek q_m przypadający na jednostkę masy pyłu, określany jest z równania:

$$q_m = \frac{C U}{m_p}$$

/3/

gdzie:

- C - pojemność układu pomiarowego,
 U - napięcie powstające w czasie zatrzymywania
 pyłu na filtrze,
 m_p - masa pyłu zatrzymanego na filtrze.

Następnie określana jest gęstość ładunku q_v z równania:

$$q_v = q_m \cdot Z \quad /4/$$

gdzie:

- Z - wagowa koncentracja mieszaniny pyłowo-po-
 wietrznej w instalacji transportu pneuma-
 tycznego.

Wartość prądu płynącego z wybranego elementu instalacji transportu pneumatycznego do ziemi pozwala na określenie wartości ładunku q przypadającego na jednostkę masy transportowanego materiału.

Zależność tą można określić z równania:

$$q = \frac{J}{m_p} \quad /5/$$

gdzie:

- J - wartość prądu płynącego do ziemi,
 m_p - masowe natężenie przepływu materiału
 sypkiego.

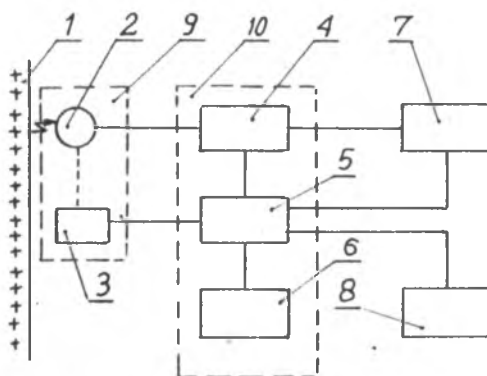
Powyższa metoda pozwala na określenie wpływu prędkości przepływu, składu ziarnowego, wilgotności, wymiarów i kształtu instalacji na procesy elektryzacji.

2.4.2. Określenie maksymalnej energii wyładowań iskrowych w instalacjach przemysłowych

Badania te obejmują:

- pomiar energii wyładowań elektryczności statycznej,
- pomiar czasu wyładowań iskrowych elektryczności statycznej.

Układ pomiarowy energii wyładowań iskrowych przedstawiono schematycznie na rys.5.



Rys.5. Schemat blokowy do pomiaru energii wyładowania iskrowego
 1-naładowany elektrostatycznie materiał, 2-ruchoma elektroda, 3-silnik elektryczny, 4-układ RC, 5-elektryczny zespół sterujący, 6-zasilanie, 7-oscyloskop, 8-miernik czasu, 9-układ ruchomej elektrody, 10-aparatura do pomiaru energii wyładowań iskrowych -MEW.

Zasada pomiaru polega na określaniu wartości ładunku Q biorącego udział w wyładowaniu oraz napięciu U przy którym nastąpiło wyładowanie.

Ładunek Q określony jest z równania:

$$Q = \Delta U C_x \quad /6/$$

gdzie:

ΔU - amplituda napięcia na kondensatorze /określona za pomocą oscyloskopu/,

C_x - pojemność układu RC przyrządu pomiarowego /MEW na rys.5/.

Energję wyładowania iskrowego określić można z równania

$$W_i = \frac{1}{2} Q U \quad /7/$$

gdzie:

U - maksymalna wartość napięcia na kondensatorze w momencie wyładowania iskrowego, określić można tą wartość znając długość iskry oraz średnicę elektrod iskrownika.

Energię wyładowań iskrowych określić można z równania:

$$W_i = \frac{1}{2} \Delta U C_x U \quad /8/$$

3. Badania mierzące do opracowania zabezpieczeń przed wybuchami lub skutkami wybuchów

Problematyka badawcza oraz zakres badań w tym zagadnieniu jest obszerna i zajmuje się nią szereg ośrodków badawczych krajowych i zagranicznych. Badaniami takimi zajmują się między innymi ośrodki badawcze w Związku Radzieckim, Wielkiej Brytanii, USA, NRF. Z krajowych ośrodków badawczych należy tu wymienić: Instytut Bezpieczeństwa Górniczego - Kopalnię Doświadczalną "Barbara" w Mikołowie, Instytut Techniki Ciepłej Politechniki Warszawskiej, Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Ochrony Przeciwpożarowej w Józefowie k/Otwocka, Wyższą Oficerską Szkołę Pożarniczą w Warszawie, Instytut Maszyn i Sterowania Układów Elektroenergetycznych Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, Zakład Inżynierii Materiałów Okrętowych Wyższej Szkoły Morskiej w Szczecinie oraz Instytut Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów Politechniki Wrocławskiej.

Ośrodki te prowadzą prace badawcze, które obejmują część obszernego problemu zabezpieczeń przed wybuchami lub skutkami wybuchów obiektów przemysłowych i układów technologicznych /w tym układów transportu pneumatycznego/.

Prace badawcze prowadzone w Kopalni "Barbara" obejmują całość zagadnień zabezpieczenia pożarowo-wybuchowego w przemyśle węglowym oraz niektóre prace badawcze dotyczące podstawowych właściwości pożarowo-wybuchowych pyłów technologicznych i ocenę zagrożenia pożarowo-wybuchowego obiektów w Zakładach Włókienniczych Przemysłu Lekkiego.

Wszystkie wymienione powyżej ośrodki badawcze współpracują przy rozwiązywaniu problemu zabezpieczeń przed wybuchami lub skutkami wybuchów w przemyśle lekkim i przemyśle spożywczym.

Badania OBROB w Józefowie i WOSP w Warszawie dotyczą głównie obiektów przemysłowych. Badania prowadzone w Krakowie i Szczecinie dotyczą problemu elektryczności statycznej pyłów. Prace badawcze ITC w Warszawie obejmują badanie podstawowych właściwości pożarowo-wybuchowych pyłów - w tym głównie dolnych granicznych stężeń wybuchowych i minimalną energią zapłonu oraz badania zjawiska wybuchu mieszanin pyłowo-powietrznych w dużej objętości.

Badania prowadzone w ITCiMP Politechniki Wrocławskiej mają na celu dostarczenie danych do opracowania zabezpieczeń przed pożarami lub wybuchami spowodowanych elektrycznością statyczną, zapłonem lub samozapłonem mieszaniny w układach technologicznych, w tym głównie w układach transportu pneumatycznego i układach wentylacyjnych.

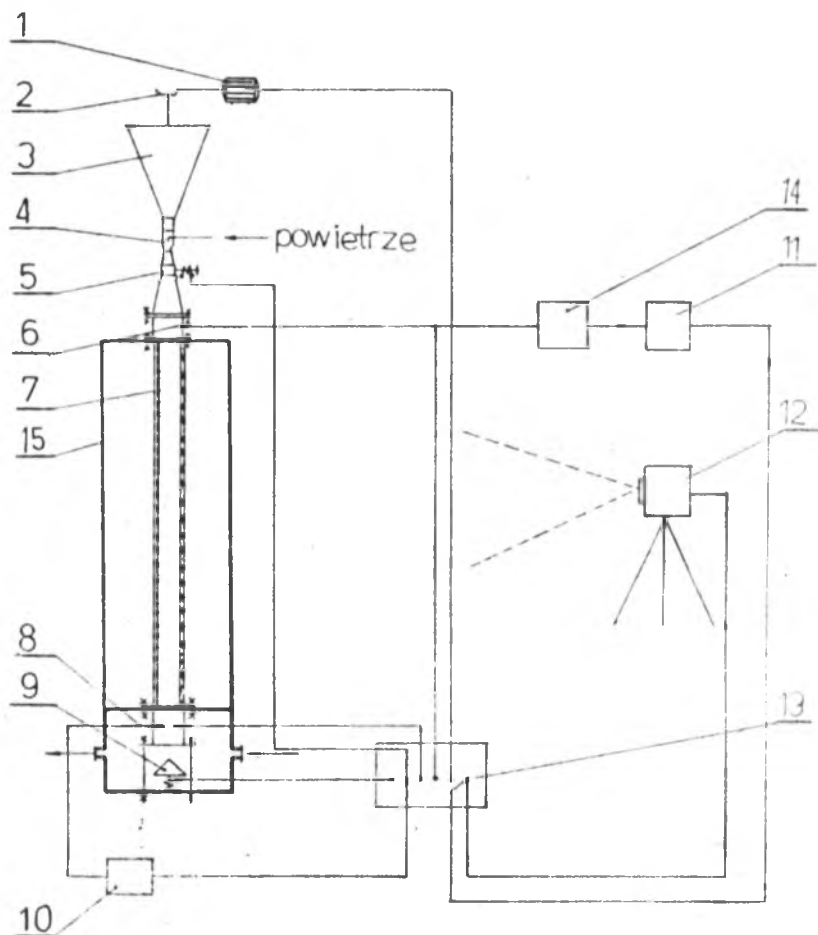
Zakres badań obejmuje:

- badania skuteczności działania zabezpieczeń przed elektrycznością statyczną,
- badania rozprzestrzeniania się frontu płomienia w instalacjach,
- badania membranowych układów zabezpieczających przed skutkami wybuchów,
- badania nad automatycznym gaszeniem wybuchów.

Badania powyższe znajdują się obecnie w stadium początkowym i dlatego też poniżej podano tylko ogólne zasady prowadzenia badań.

Badania skuteczności działania zabezpieczeń przed elektrycznością statyczną prowadzone będą w aparaturze wytwarzającej mieszaninę pyłowo-powietrzną płynącą w układzie obiegowym. W układzie tym prowadzone będą próby różnych sposobów likwidowania lub zmniejszania zjawisk elektryzacji.

Szybkość frontu płomienia w mieszaninie pyłowo-powietrznej określana jest w aparaturze pokazanej na rys. 6.



Rys. 6. Schemat aparaturowy do badania szybkości frontu płomienia w mieszaninie
 1-silnik elektryczny, 2-przekładnia obrotów, 3-zasobnik pyłu, 4-injektor, 5-zawór szybkozamykający, 6-ozujnik ciśnienia, 7-szklana rura, 8-elektrody iskrownika, 9-zawór szybkozamykający, 10-układ zapłonowy, 11-rejestrator ciśnienia, 12-komora do zdjęć szybkich, 13-pulpit sterowniczy, 14-wzmacniacz ładunku, 15-konstrukcja nośna.

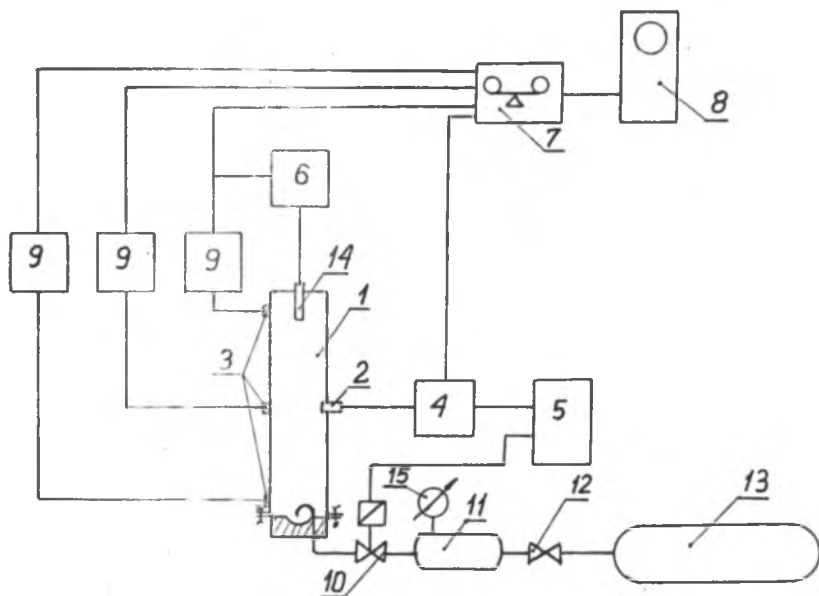
W układzie tym mieszanina pyłowo-powietrzna płynąca w pionowej szklanej rurze zapalana jest w dolnej lub górnej części aparatury, natomiast zjawisko rozprzestrzeniania się frontu płomienia rejestrowane jest za pomocą kamery do zdjęć szybkich. Badanie membranowych układów zabezpieczających ma na celu określenie wpływu warunków wybuchu na wielkość otworu dekompensacyjnego oraz do określenia wielkości i rodzaju membran dekompresyjnych. Badania nad automatycznym gaszeniem wybuchu są próbą mającą na celu doprowadzenie do gaszenia wybuchu w jego stadium początkowym. Układ taki składać się będzie z detektora wybuchu, układu przetwarzającego oraz urządzenia gaśniczego. Zadaniem detektora wybuchu jest wykrycie wybuchu w jak najwcześniejszym stadium. Musi on charakteryzować się dużą czułością, małą bezwładnością i małą wrażliwością na zakłócenia. W obecnym stadium badań wykonany jest detektor ciśnieniowy. Sygnał z detektora przekazywany jest do układu przetwarzającego, który wysyła impuls prądowy uruchamiający urządzenie gaśnicze.

Na rysunku 7 pokazano schemat aparatury do badania skuteczności działania inhibitorów wybuchu.

4. Podsumowanie

Przedstawiony w powyższym opracowaniu problem jest bardzo szeroki i dlatego też większość zagadnień przedstawiono bardzo pobieżnie, w zasadzie sygnalizując je tylko. Dokładniejsze dane zamieszczone są w Raporcie [6]. Prace badawcze obecnie prowadzone są głównie dla pyłów spożyczych i lniarskich. Badania dla innych pyłów np. pył węglowy [8], pyły z tworzyw sztucznych [7], [9], prowadzone były tylko w zakresie badań określających ich właściwości wybuchowe.

Przedstawiony w opracowaniu zakres badań oraz metody badawcze obejmuje prace prowadzone w ITCiMP Politechniki Wrocławskiej. Zakres ten pozwala na przeprowadzenie badań dla większości palnych pyłów przemysłowych



Rys. 7. Schemat aparatury do badania skuteczności działania inhibitorów wybuchu
 1-komora spalania, 2-zapalnik termitowy, 3-piezoelektryczne czujniki ciśnienia, 4-urządzenie zapłonowe, 5-układ synchronizujący, 6-elektryczny zespół sterujący automatycznego systemu tłumienia wybuchów, 7-magnetofon pomiarowy, 8-oscyloskop, 9-wzmacniacz ładunku, 10-zawór elektromagnetyczny, 11-pośredni zbiornik sprężonego powietrza, 12-zawór regulacyjny, 13-zbiornik sprężonego powietrza lub sprężarka, 14-zasobnik ze środkiem gaszącym, 15-manometr

biorących udział w procesie technologicznym w tym również w transporcie pneumatycznym.

LITERATURA

- [1] S.Hulanioki: Własności termokinetyczne aerozoli przemysłowych. Prace Naukowe Instytutu IChU Politechniki Wrocławskiej nr 11, Monografie nr 4, Wrocław 1972, ss.66-126.
- [2] M.Sąsiadek, J.Górecki: Określenie i pomiar właściwości wybuchowych mieszanin pyłowo-powietrznych, V Krajowa Konferencja Metrologii i Budowy Aparatury Pomiarowej, t.VI, Poznań 1972, ss.152-153.

- [3] W.Cybulski: Wybuchy pyłu węglowego i ich zwalczanie, Śląsk 1973.
- [4] T.Ostrowski, P.Wolański: Problemy wybuchowości pyłów, Przegląd Pożarniczy nr 1, 1978, ss.14-16.
- [5] G.J.Smiełkow, J.D.Rutkowski: Badania zjawiska zapłonu mieszanin pyłowo-powietrznych wywołanego wyładowaniami iskrowymi, Chemia Stosowana 15, 1971, Zeszyt 3, ss. 284-289.
- [6] J.Górecki i inni: Raport nr 005/78 Instytutu Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1978.
- [7] M.Sąsiadek, J.Górecki: Badania nad wpływem wielkości ziarn tworzyw sztucznych na graniczne stężenie wybuchowe oraz stosowane metody pomiarów, Prace Naukowe Instytutu MAIBUT Politechniki Wrocławskiej nr 5, Studia i Materiały nr 4, Wrocław 1972, ss.51-66.
- [8] J.Górecki: Zagadnienie niezawodności pracy młynów susząco-mielących dla paliw stałych z punktu widzenia zagrożenia wybuchowego, Prace Naukowe Instytutu TCiMP Politechniki Wrocławskiej nr 12, Konferencje nr 1, Wrocław 1974, ss.287-296.
- [9] M.Sąsiadek, J.Górecki: Badania nad temperaturą zapłonu pyłów z tworzyw sztucznych, Prace Naukowe Instytutu MAIBUT Politechniki Wrocławskiej nr 3, Studia i Materiały nr 2, Wrocław 1970, ss.48-49.

НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗПАСНОСТЬ РАБОТЫ СИСТЕМ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

Р е з ю м е

В работе подаётся пересмотр методов исследования свойств горюче - взрывных пылей, подаются направления исследований, целью которых является уменьшение взрывной опасности и противодействие взрывам или последствиям взрывов в технологических системах, в том числе и в системах пневматического транспорта.

RELIABILITY AND INDUSTRIAL SAFETY OF PNEUMATIC TRANSPORT SYSTEMS

S u m m a r y

The paper presents a review of methods of testing of the fire and explosive properties of various dusts, and gives the guidelines for investigations concerning the minimalization of explosion hazard, as well as safety precautions against explosions and counteraction relating to explosion effects in the various technological systems, including the pneumatic transport installations.