

Z zagadnieniami tymi nierozzerwalnie związane są procesy przepływu energii przez promieniowanie, przewodzenie i konwekcję. Analiza każdego z tych procesów oddzielnie nie stwarza problemu, trudności napotyka się dopiero przy procesach rzeczywistych, gdzie przepływ ciepła odbywa się równocześnie wszystkimi sposobami. Najbardziej złożony jest proces przepływu energii w ośrodku emitująco-pochłaniającym zarówno pod względem fizycznym, jak i matematycznym. Do rozwiązania powyższego problemu należy wykorzystać metody numeryczne lub przybliżone metody analityczne rozwiązywania równań całkowych. Inną grupę rozwiązań stanowią przybliżenia różniczkowo-różnicowe i inne. Zastosowane uproszczenia w obliczeniach wymiany ciepła przez promieniowanie mogą być z powodzeniem wykorzystywane przy projektowaniu urządzeń paleniskowych różnego typu, w szczególności urządzeń do spalania odpadów z różnych procesów technologicznych.

#### SOME PROBLEMS ON HEAT TRANSFER IN INDUSTRIAL AND MUNICIPAL WASTES INCINERATION PROCESSES

##### Summary

Waste incineration with heat utilization for some municipal or technological purposes is one of the possible ways of waste utilization. The most important questions connected with the designing of these plants are: high efficiency and operational reliability with low operational cost and ensured ecological harmlessness. Energy transfer processes by radiation, convection and heat conduction are connected with the questions mentioned above. Separate analysis of each of these problems is not difficult but some new problems occur if actual processes are considered because heat transfer takes place by all the mentioned ways. Most complicated physically as well as mathematically is the description of energy transfer in an emitting-absorbing medium. Numerical methods and approximate analytical methods were used for integral equations solving. Differential approximations were also used. The results show that approximate calculating methods of heat transfer by radiation are applicable for designing of incineration units, especially for industrial waste incineration plants.

Halina KRUCZEK  
Stanisław KRUCZEK  
Dariusz ŁUSZCZEK  
Mieczysław ŚLABICKI  
Adam TURCZYŃSKI  
Mieczysław ZEMBRZUSKI

Instytut Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów Politechniki Wrocławskiej

#### UTYLIZACJA ODPADÓW Z PRODUKCJI FARB I LAKIERÓW

Streszczenie. W pracy przeprowadzono analizę składu chemicznego odpadów, powstających w zakładach produkcji farb i lakierów pod kątem możliwości ich unieszkodliwienia metodą dopalania. Przedstawiono wstępne wyniki badań nad zachowaniem odpadów o różnym stanie skupienia w warunkach nagrzewania oraz nad emisją pyłów ze spalania odpadów stałych. Na podstawie wyników analiz i badań zaproponowano specjalną konstrukcję pionowego paleniska do jednoczesnego spalania odpadów o różnym stanie skupienia. Palenisko składa się z trzech komór spalania, które pełnią jednocześnie rolę komór dopalania. Wydajność cieplna komory dla paliw ciekłych wynosi 1,1 MW, dla paliw stałych 0,5 MW przy zużyciu odpowiednio 150 kg/h i 110 kg/h.

#### 1. WPROWADZENIE

Racjonalna gospodarka odpadami uwzględniająca zarówno aspekt ekonomiczny, jak i ekologiczny w przypadku zakładów produkujących farby i lakiery w chwili obecnej nie istnieje. Obowiązujący aktualnie model składowania odpadów i ich okresowego spalania na wolnym powietrzu jest uciążliwy dla środowiska naturalnego i nie daje żadnych efektów ekonomicznych.

Proces utylizacji odpadów powstałych w wyniku produkcji farb i lakierów jest bardzo trudny do zrealizowania. Wynika to z różnorodności spalanych odpadów pod względem składu chemicznego, a przede wszystkim stanu skupienia, a co za tym idzie, trudnego do przewidzenia oddziaływania spalania komponenta na spalanie innych. Zestawienie odpadów i surowców do produkcji farb i lakierów zamieszczono w tablicach I-II.

Próba rozwiązania powyższego problemu zostanie opisana na podstawie prac nad utylizacją odpadów we Wrocławskiej Fabryce Farb i Lakierów "POLIFARB". Opisana poniżej instalacja jest w trakcie realizacji.

Tablica 1.

Ilość odpadów przeznaczonych do spalania w stosunku rocznym

Rodzaj odpadów	Ilość odpadów w stosunku rocznym w Mg		
	półciekłe	ciekłe	stałe
1. Substancje organiczne ciekłe, półciekłe, maziste stałe, zawierające rozpuszczalniki	251	84	-
2. Mieszanka substancji organicznych i asfaltów	8	8	-
3. Żywice stałe, krezole, wkładki filtracyjne /filcowe i celulozowe/	6,3	6,3	12,5
4. Osady z kanalizacji i oczyszczania zbiorników magazynowych	30	30	-
5. Osady z urządzeń produkcyjnych zawierające: BaSO <sub>4</sub> , ZnO, Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ZnS, CaCO <sub>3</sub> , PbCrO <sub>4</sub> , PbSO <sub>4</sub> , Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub> , SiO <sub>2</sub>	250	-	-
6. Folia polietylenowa, opakowania z tworzyw sztucznych oraz drewno	-	-	3,5
7. Palety drewniane	-	-	100
8. Worki papierowe	-	-	200

## 2. WSTĘPNA OCENA PROCESU SPALANIA ODPADÓW

Analiza surowców stosowanych do produkcji farb i lakierów wskazuje, że nie występują w nich związki siarki i chloru. Nie ma tym samym niebezpieczeństwa powstawania agresywnych produktów spalania. Podczas spalania omawianych odpadów mogą natomiast powstawać szkodliwe dla środowiska pyły oraz półprodukty spalania i produkty rozkładu. Największe zagrożenie stanowią pigmenty /tablica II/.

W temperaturze pracy komory spalania 800 - 1100°C część barwników Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, BaSO<sub>4</sub>, PbCrO<sub>4</sub> stopi się, natomiast CaCO<sub>3</sub> ulegnie rozkładowi

Tablica 2.

Właściwości pigmentów stosowanych do produkcji

Wzór chemiczny	Temperatura topnienia °C [2]	Temperatura wrzenia °C
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	656	subl. 1550
BaSO <sub>4</sub>	233	1580
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2435	4000
ZnS	-	subl. 1185
ZnO	subl. 1800	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2015	2980
SiO <sub>2</sub>	1700	2230
PbCrO <sub>4</sub>	844	rozkł.
PbSO <sub>4</sub>	1170	-
TiO <sub>2</sub>	1825	-
CaCO <sub>3</sub>	rozkł. 825	-
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	rozkł. 1538	-

/związek ten wykazuje dodatkowo właściwości inhibicyjne/, ZnS w lokalnych temperaturach w komorze ponad 1190°C może ulec sublimacji.

Pozostałe pigmenty zachowują fazę stałą.

Wstępna analiza właściwości surowców, stanowiących składniki odpadów, pozwala oszacować optymalną temperaturę /ok. 1000°C/, przy której należy prowadzić proces spalania.

Dużo bardziej uciążliwa dla środowiska może okazać się emisja produktów niecałkowitego i niezupełnego spalania. Aby tę emisję zmniejszyć do minimum, należy proces spalania odpowiednio zorganizować. Przez organizację procesu spalania odpadów należy rozumieć zarówno kształt komory, sposób wprowadzania odpadów stałych i ciekłych, jak też wzajemne oddziaływanie spalania odpadów ciekłych na stałe.

Dla oceny zachowania się odpadów w podwyższonych temperaturach przeprowadzono badania laboratoryjne, w wyniku których uzyskano informacje:

- a/ słabe dymienie przy 100°C, intensyfikujące się wraz ze wzrostem temperatury do żółtego dymu przy 400°C;
- b/ zmianę fazy ze stałej na ciekłą w przypadku próbki zestalonych żeli; odpady olejowe i ftalowe po czyszczeniu zbiorników ulegają częściowo przemianie z fazy stałej na ciekłą, a część pozostała ulega zwęgleniu.

Próbki odpadów poddane opisanemu doświadczeniu są mieszaninami o nie znanych dokładnie składach, wynikających ze sposobu gromadzenia odpadów. Stąd też nie jest zupełnie jasne, na ile zmiany fazy są wynikiem rozkładania się związków, a na ile rozdzielania się faz mieszaniny.

Aby móc odpowiedzieć na te pytania, wybrano próbki jednoskładnikowe, tzn. strzępy worków polietylenowych i żywicę. Stwierdzono, że: stopione żywice i wyższe polimery w temp. od 200 do 500°C ulegają rozkładowi, w wyniku którego wydziela się gaz, składający się z lekkich węglowodorów C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub>. Wydzielające się gazy stanowią, w przypadku polietylenu, około 5 % wagowych, powstająca w temp. 400°C ciecz stanowi 90 %, a pozostałość tworząca zwęgloną skorupę 5 %.

Oparając się na powyższej analizie, można stwierdzić, że:

- 1/ substancje stanowiące odpady mają duże ciepło spalania, ale z wyjątkiem rozpuszczalników, małą szybkość spalania. Dlatego też w czasie spalania powstaje znaczna ilość sadzy i innych półproduktów spalania,
- 2/ w wysokich temperaturach zachodzi termiczny rozkład większości substancji występujących w odpadach, na skutek czego powstaje ciecz krzepnąca powtórnie w niskich temperaturach, a także część stała, dająca skorupę na ściankach.

Spalanie odpadów z produkcji farb i lakierów wymaga specjalnej konstrukcji komór. Z kolei zabezpieczenie przed emisją zanieczyszczeń wymusza przestrzeganie określonych reżimów. Konieczne jest wielostopniowe spalanie, tj. z komorą dopalania.

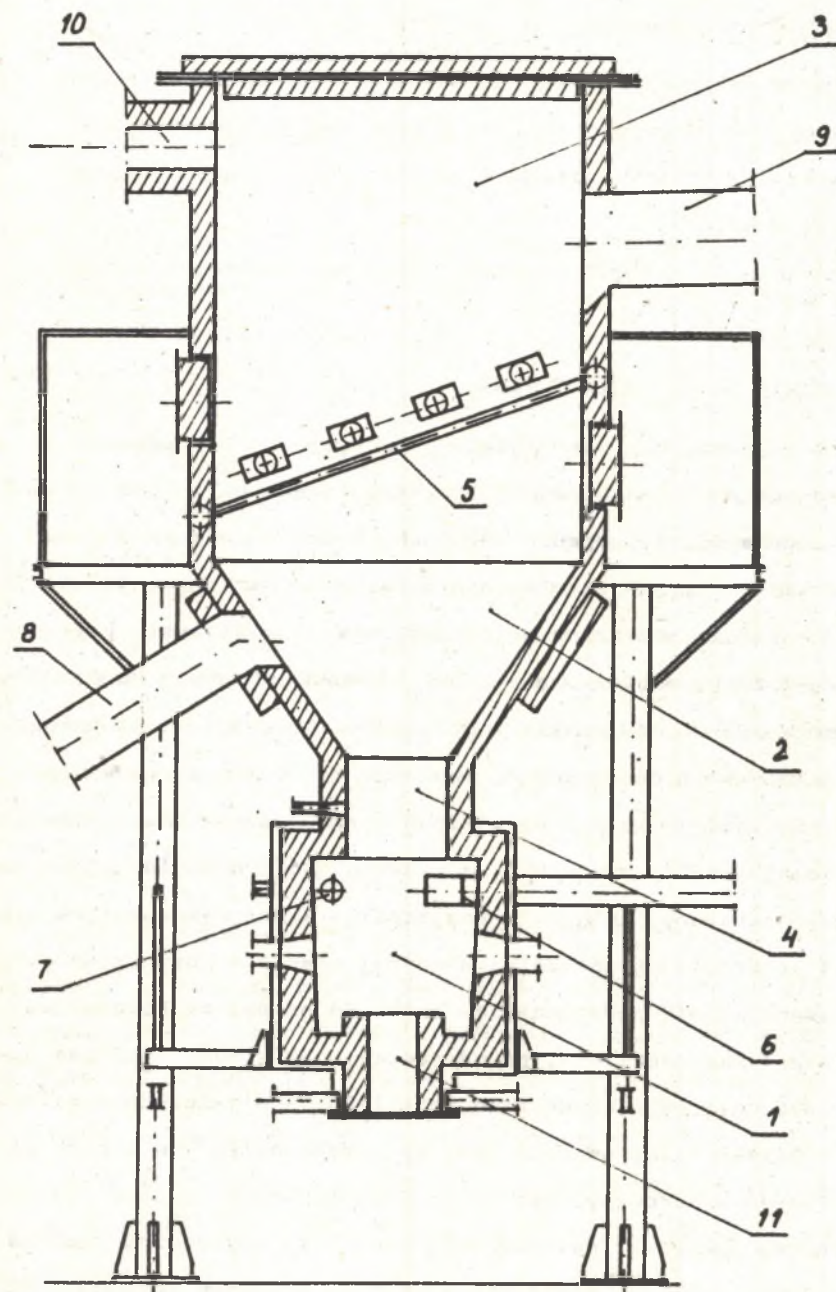
Emisja pigmentów eliminowana może być dwustopniowo:

- przez utrzymywanie stałej temperatury w komorze spalania - 800-1100°C /część pigmentów ulegnie stopieniu i zostanie odprowadzona; niebezpieczne jest przekroczenie 1190°C ze względu na możliwość sublimacji ZnS/,
- przez zastosowanie skrubera wodnego przed wprowadzeniem spalin do komina.

### 3. URZĄDZENIE DO SPALANIA ODPADÓW

Różnorodność odpadów, powstających w Fabryce Farb i Lakierów, narzuciła konieczność zastosowania trzystopniowego paleniska /rys. 1/, umożliwiającego spalenie odpadów ciekłych, półstałych oraz stałych /drewno, worki/. Przyjęto rozwiązanie w układzie pionowym, tzn. wszystkie trzy komory spalania połączone są gardzielami przelotowymi [1]. Dolną komorę i zarazem pierwszą stanowi pionowa cyklonowa komora spalania w której spala się odpady ciekłe i półciekłe, komora ta jest połączona kanałem przelotowym z drugą komorą spalania i dopalania, do której doprowadza się rozdrobnione w specjalnym urządzeniu worki. Całość jest wykonana z ogniotrwałej wymurówki, a pierwsza komora cyklonowa, z uwagi na wysokie temperatury, chłodzona powietrzem, które wykorzystane jest jako powietrze drugie do spalania. W górnej części komory cyklonowej jest zabudowany palnik z dozownikiem tłokowym na paliwo półciekłe. Konstrukcja palnika umożliwia, przed podaniem do komory "wstępne podgrzanie i doprowadzenie odpadów do stanu ciekłego. W płaszczyźnie palnika na odpady półciekłe zabudowano palnik na wysokokaloryczne odpady ciekłe, którego strumień skierowany jest do wylotu palnika na paliwo półciekłe.

Druga komora spalania jest oddzielona od trzeciej komory rusztem pochyłym chłodzonym wodą. Ruszt ten umożliwia spalanie odpadów stałych /drewno/, a jednocześnie stwarza opór przepływu z dolnych komór, przez co wydłuża się czas pobytu w komorze i spalania rozdrobnionych worków.



Rys. 1. Palenisko do spalania odpadów z fabryki farb i lakierów.  
 1. cyklonowa komora spalania /komora I/ 2. komora dopalania i spalania /komora II/ 3. komora spalania III. 4. gardziel łącząca 5. ruszt. 6. palnik na odpady półciekłe. 7. palnik na odpady ciekłe. 8. palnik na dozdobniono worki. 9. kanał doprowadzający odpady stałe. 10. kanał wylotowy spalin. 11. odzūżlacz

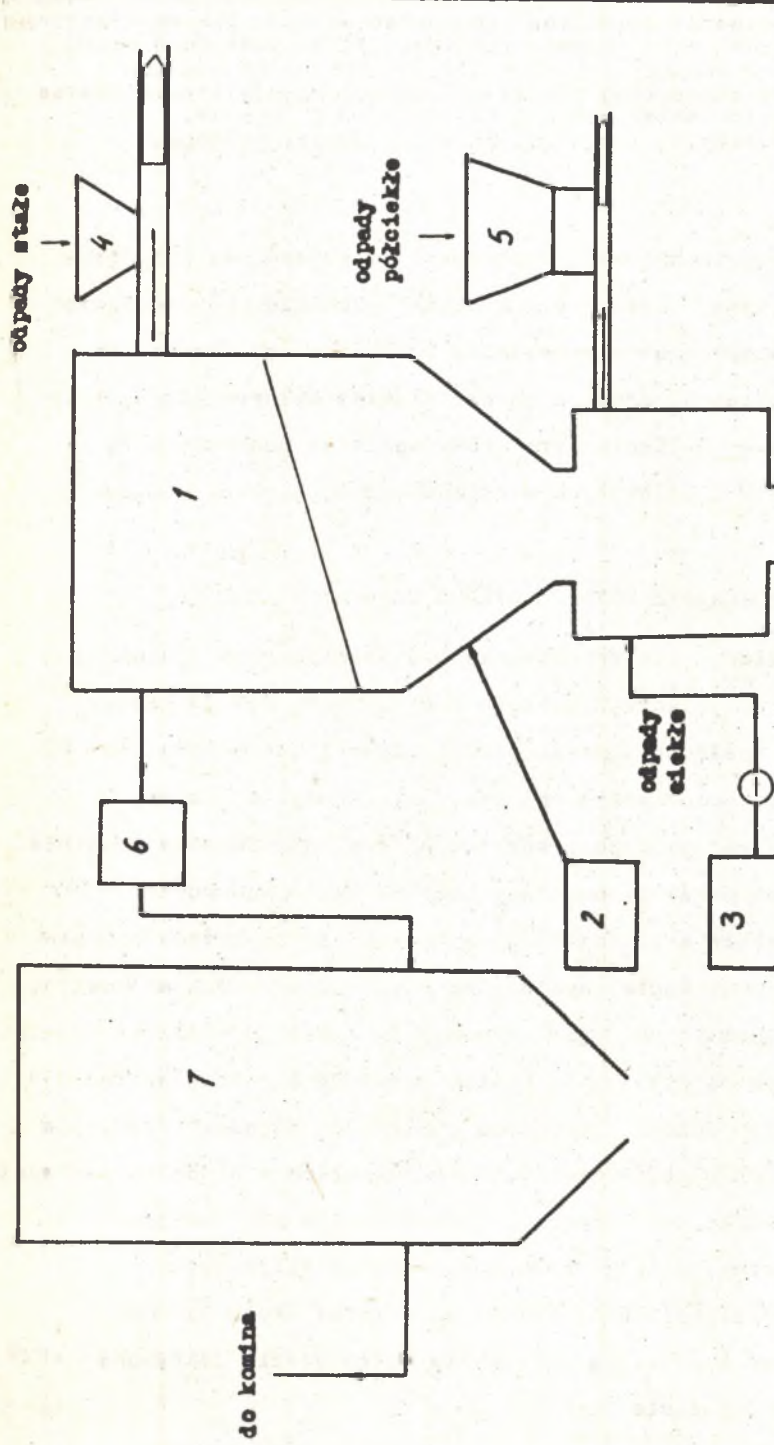
Fig.1. Furnace for incinerating wastes from paint and varnish manufacture  
 1. cyclone incineration chamber /chamber I/. 2. post-combustion and incineration chamber /chamber II/. 3. post - combustion chamber III. 4. connecting throat. 5. grate. 6. semiliquid wastes burner. 7. liquid wastes burner. 8. cutted bags burner. 9. solid waste feeding duct. 10. flue gas outlet passage. 11. dirt trap

Zasadniczą korzyścią techniczną, wynikającą ze stosowania paleniska według tego projektu, jest uzyskanie możliwości jednoczesnego spalania odpadowych paliw o różnym stanie skupienia. Ponadto w urządzeniu tym można spalać stałe paliwa odpadowe o bardzo niskiej kaloryczności, gdyż do komory wprowadzone są wysokotemperaturowe spaliny, pochodzące ze spalania paliw ciekłych i półstałych w cylindrycznej komorze o dużym stopniu zawirowania.

#### 4. WSPÓŁPRACA URZĄDZENIA Z KOTŁEM, BILANS CIEPLNY

Fabryka Farb i Lakierów zapotrzebowanie w ciepło pokrywa z własnej kotłowni, w której pracują kotły rusztowe o wydajności 2,9 MW każdy. Budowa urządzenia do spalania odpadów przewidziane jest na zewnątrz kotłowni /rys. 2/ przy ścianie bocznej tak, aby z uwagi na kanały spalinowe, była najbliższej jednego z kotłów. Po spalaniu odpadów powstałe spaliny będą kierowane przez okno ściany bocznej kotła nad ruszt. Z bilansu cieplnego kotła i ilości odpadów wynika, że częściowe obciążenie kotła będzie pokrywał węgiel spalany na ruszcie, a częściowo spaliny ze spalania odpadów, przy czym węgiel i powstały żużel ze spalania będzie stanowił warstwę ochronną dla rusztu kotła. Przyjęto okresową pracę urządzenia do spalania odpadów z uwagi na specyfikę zakładu. Urządzenie będzie spalało 150 kg/h odpadów ciekłych i półciekłych o średnich wartości opałowej  $Q_w^r = 25200$  kJ/kg, co stanowi 1,1 MW oraz 110 kg/h odpadów stałych /worki papierowe, palety drewniane, wkładki filtracyjne/ o średniej wartości opałowej 16700 kJ/kg, co stanowi około 0,5 MW.

Z powyższych danych wynika, że obciążenie kotła będzie pokrywane przez odpady w wysokości około 55 %.



Rys.2. Schemat instalacji utylizacji odpadów z fabryki farb i lakierów.  
1. palenisko. 2. rozdrabniarka worków. 3. zbiornik odpadów ciekłych. 4. zbiornik odpadów stałych  
5. zbiornik odpadów półciekłych. 6. komora osadza. 7. kocioł

Fig.2. Flow diagram of a processing plant for utilization of waste from paint and varnish manufacturing  
1. furnace. 2. bag cutter. 3. liquid waste tank. 4. solid waste storage tank. 5. semiliquid waste tank. 6. sedimentation chamber. 7. boiler

## 5. DOZOWANIE ODPADÓW

Nierytmiczność powstawania odpadów w zakładzie narzuca konieczność stosowania zasobników wyrównawczych w pobliżu urządzenia spalającego. Na odpady półciekłe przewidziano zasobnik podgrzewany parą odlotową, wyposażony w mieszadło, z którego podajnik tłokowy dozuje do komory spalania. Worki papierowe przed podaniem do spalania podlegają rozdrobieniu. Do tego celu przewidziano maszynę, która jednocześnie rozdrabnia worki na strzępy, oddziela pozostałe w workach ilości pigmentów i podaje do drugiej komory spalania urządzenia. Podawanie rozdrobnionych worków jest pneumatyczne w strumieniu powietrza, przy czym spręż i przepływ powietrza są realizowane przez urządzenie rozdrabniające. Oddzielone pigmenty z worków można wykorzystać do technologii, a jednocześnie zmniejszają do minimum emisję pyłów i związków do atmosfery. Podawanie odpadów stałych /kawałki palet/ rozwiązano w sposób typowy przez zgarniacz i samozamykającą się klapę na ruszt do trzeciej komory spalania.

## 6. WSTĘPNE BADANIA NAD EMISJĄ ZANIECZYSZCZEŃ PYŁOWYCH

Jak już ustalono wcześniej, czynnikiem wpływającym w największym stopniu na emisję zanieczyszczeń do otoczenia jest obecność w odpadach pigmentów. W celu określenia jakościowego i ilościowego stopnia emisji pigmentów przeprowadzono w Instytucie Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów testowe badania na pionowej komórce cyklonowej w skali ćwierćtechnicznej. Dla uzyskania odpowiednich temperatur w komorze spalano metan, a pigmenty wprowadzano wraz z rozdrobnionymi papierowymi workami.

Założono trzy wartości temperatur: 800, 1000, 1300°C. W przypadku temperatur komory 800 i 1000°C skład emitowanych zanieczyszczeń był identyczny. Stwierdzono brak pigmentów o niskich temperaturach topnienia:  $Sb_2O_3$ ,  $BaSO_4$ ,  $PbCrO_4$ ,  $CaCO_3$ . Przy temperaturze 1300°C skład wydzielonych ze spalin pyłów nie uległ zmianie, stwierdzono natomiast wydzielanie się na chłodzonej powierzchni kanału spalin kondensatu  $ZnS$ .

Badania ilościowe wykazały 86 % wychwytu pyłu przez komorę spalania, rozłożenie i związanie trudno topliwych z łatwo topliwymi. Pominięto trudną do ustalenia ilość skondensowanego ZnS - jego udział masowy stanowi w przybliżeniu 1,2 % całkowitej ilości pigmentów.

Wyniki powyższe potwierdzają przyjętą koncepcję, tzn. utrzymania w drugiej komorze spalania i dopalania temperatury 800 - 1000°C, a zakres tych temperatur uzyska się regulacją współczynnika nadmiaru powietrza.

#### LITERATURA

1. Palenisko cyklonowe do spalania odpadów paliw stałych, półstałych i ciekłych. Patent Nr 137.039 1985 r.
2. Poradnik fizykochemiczny, WNT, Warszawa 1974.

Wpłynęło do Redakcji : listopad 1986 r.

Recenzent

Doc. dr hab. inż. J.Wandrasz

#### UTILIZATION OF WASTES FROM PAINT AND VARNISH MANUFACTURE

#### S u m m a r y.

An analysis of chemical composition and properties of wasters produced in paint and varnish plant has been done to establish the possibility of thermal disposal. The results has been presented of preparatory tests done on a behaviour of wastes of different states of aggregation when they are heated up.

Basing on the analysis and experiments the special vertical structure of combustion chamber for simultaneous combustion of wastes of different states of aggregation has been suggested. The furnace consists of two chambers which simultaneously act as afterburners. Heat output of the chamber for liquid wastes combustion is 1,047 MW and for solid wastes 0,512 MW, when burning 150 kg/h and 110 kg/h of wastes.

#### УТИЛИЗАЦИЯ ОТБРОСОВ С ПРОИЗВОДСТВА КРАСОК И ЛАКОВ

#### Резюме

В статье представлен анализ химического состава отбросов, возникающих на заводах красок и лаков с точки зрения возможности их обезвреживания методом догорания. Представлены предварительные результаты исследований поведения отбросов разного агрегатного состава в условиях нагревания и эмиссии продуктов после сгорания твёрдых отбросов.

На основании результатов анализа и исследований предложена специально-го типа вертикальная топка для одновременного сгорания отбросов разного агрегатного состояния. Для достижения эффективности процесса сгорания установка для сгорания этих отбросов состоит из двух камер сгорания, которые одновременно играют роль камер догорания, т.е. верхняя камера для сгорания твёрдых отбросов является камерой догорания для жидких отбросов, которые начинают процесс горения в нижней камере, в которой одновременно догорают твёрдые вещества.

Эта установка имеет тепловую мощность для жидкого топлива 1,047 МВт и для твёрдых - 0,512 МВт, что обусловлено требованиями лако-красочного завода, где жидких отбросов есть порядка 150 кг/ч, а твёрдых - 110 кг/ч. В статье тоже представлена целая концепция утилизации отбросов, т.е. их сгорания вместе с очисткой дымовых газов.