

A K A D E M I A M A R Y N A R K I W O J E N N E J
im. Bohaterów Westerplatte

AMW Wewn. 1005/2001

Tadeusz KASPEREK
Jarosław MICHALAK

OBRONA PRZECIWCHEMICZNA OKRĘTU

Cz. IV

**Charakterystyka i zastosowanie dymów
maskujących**



GDYNIA 2001

AKADEMIA MARYNARKI WOJENNEJ
im. Bohaterów Westerplatte

AMW Wewn. 1005/2001

Tadeusz KASPEREK
Jarosław MICHALAK

OBRONA PRZECIWCHEMICZNA
OKRETU

Cz. IV

Charakterystyka i zastosowanie dymów
maskujących

GDYNIA 2001

357.242.3

OBRONA PRZECIWCHEMICZNA
BOJOWE ŚRODKI DYMOTWÓRCZE

AMW
pol.

KASPEREK T., MICHALAK J.: **Obrona przeciwchemiczna okrętu. Cz.IV. Charakterystyka i zastosowanie dymów maskujących.** Gdynia: AMW 2001, 108 s., 25 rys., 18 tab., 8 poz. bibliogr.

Skrypt ujmuje w sposób szczegółowy, a jednocześnie syntetyczny najnowsze osiągnięcia naukowe i techniczne w zakresie składu mieszanek dymotwórczych oraz urządzeń do wytwarzania zasłon dymnych. Zakres tematyczny opracowania obejmuje charakterystykę fizyczną i chemiczną dymów, właściwości zasłon dymnych oraz środki i urządzenia stosowane w marynarce wojennej do maskowania dymem.

T.K., J.M. 1/2001

Recenzent merytoryczny:
Miroslaw KUPIS

Recenzent metodyczny:
Bernard RYŃSKI

Cały nakład wydano bez adyustacji i korekty.

Wydrukowano w formacie B -5 na papierze offsetowym kl. III, 90 g.
Druk rozpoczęto w lutym 2001 r. Druk ukończono w lutym 2001 r.
Druk AMW. Zam. nr 52/2001.

Spis treści

<i>Wstęp</i>	5
<i>Wprowadzenie</i>	7
1. PODSTAWOWE WIADOMOŚCI O DYMACH	10
1.1. Aerozole i ich właściwości	10
1.2. Charakterystyka koloidów	13
<i>Zagadnienia do dyskusji i samokontroli</i>	16
2. CHARAKTERYSTYKA PROCESÓW POWSTAWANIA DYMÓW	16
2.1. Metody otrzymywania dymów i mgieł	20
2.2. Dyspersja	21
2.2.1. Dyspersja mechaniczna	21
2.2.2. Rozpylanie cieczy	22
2.3. Kondensacja	24
2.3.1. Kondensacja przez schładzanie pary	25
2.3.2. Kondensacja jako rezultat reakcji chemicznej	28
2.4. Metody kombinowane	29
2.4.1. Rozpylanie roztworów	29
2.4.2. Wybuch	29
2.5. Klasyfikacja substancji i mieszanek dymotwórczych stosowanych w wojsku	30
<i>Zagadnienia do dyskusji i samokontroli</i>	37
3. WŁAŚCIWOŚCI I PROCESY FIZYCZNO - CHEMICZNE ZACHODZĄCE W DYMACH I MGŁACH	38
3.1. Odparowanie cząstek dymnych	38
3.1.1. Równowaga faz między cząstkami a środowiskiem	38
3.1.2. Destylacja izotermiczna	39

3.1.3. Kinetyka parowania kropeł	40
3.2. Ruch cząstek dymu	42
3.2.1. Ruchy Browna	42
3.2.2. Ruch cząstek dymu pod działaniem siły ciężkości	43
3.3. Koagulacja	46
<i>Zagadnienia do dyskusji i samokontroli</i>	49
4. WYMAGANIA STAWIANE ŚRODKOM DYMOTWÓRCZYM	
I DYMOM	50
4.1 Środki dymotwórcze – właściwości i wymagania	50
4.2 Własności maskujące dymów	55
4.2.1 Rozpraszanie światła	55
4.2.2 Pochłanianie światła	60
4.2.3 Współczynnik osłabienia światła (prawo Lamberta)	61
4.2.4 Rozproszenie wielokrotne	62
<i>Zagadnienia do dyskusji i samokontroli</i>	64
5. PODSTAWOWE WŁAŚCIWOŚCI MASKUJĄCE DYMÓW I MGIEŁ	65
5.1. Podstawowe dane z fizjologii wzroku człowieka	65
5.2. Przyczyny maskującego działania dymów (zasięg widoczności)	70
5.3 Widoczność źródeł światła we mgle	75
<i>Zagadnienia do dyskusji i samokontroli</i>	77
6. WPŁYW WARUNKÓW ATMOSFERYCZNYCH ORAZ RZEŻBY TERENU NA ZACHOWANIE SIĘ OBŁOKU DYMNEGO	78
6.1 Wiatr i turbulencja	79
6.2 Stopnie pionowej stateczności powietrza	80
6.3 Wpływ rzeźby terenu na zachowanie się obłoku dymu	84
<i>Zagadnienia do dyskusji i samokontroli</i>	88
7. CHARAKTERYSTYKA SPRZĘTU I ŚRODKÓW ZADYMIANIA STOSOWANYCH W WOJSKU	89
7.1 Ogólna charakterystyka sprzętu i środków zadymiania	89
7.2 Sprzęt i środki do stawiania zasłon dymnych stosowane w wojsku polskim	90
7.3 Sprzęt i środki do stawiania zasłon dymnych stosowane w armiach innych państw	103
<i>Zagadnienia do dyskusji i samokontroli</i>	106
<i>Zakończenie</i>	107
<i>Piśmiennictwo</i>	108

Wstęp

Podręcznik stanowi podbudowę przedmiotu "Obrona przeciwchemiczna okrętu" realizowanego zgodnie z programem studiów wyższych i wyższych studiów zawodowych na kierunku nawigacji i uzbrojenia okrętowego w specjalności eksploatacja okrętowych systemów pokładowych i kierunków mechanicznego i elektrycznego w specjalnościach maszyny i siłownie okrętowe oraz okrętowe urządzenia elektryczne i elektroniczne w części dotyczącej środków dymotwórczych. Treści zawarte w skrypcie również znajdują zastosowanie w procesie studiów zaocznych, cywilnych wszystkich specjalności oraz szkoleniu kadetów Szkoły Chorążych MW. W programach nauczania przedmiotu materiał zawarty w skrypcie wchodzi w zakres rozdziału środków zapalających i dymotwórczych.

Skrypt ujmuje w sposób szczegółowy, a jednocześnie syntetyczny najnowsze osiągnięcia naukowe i techniczne w zakresie mieszanek dymotwórczych oraz sprzętu (urządzeń) do wytwarzania zasłon dymnych.

Zakres tematyczny opracowania obejmuje charakterystykę fizyczną i chemiczną dymów, właściwości zasłon dymnych oraz środki i urządzenia stosowane w marynarce wojennej do maskowania dymem.

Każdy z rozdziałów zawiera po kilka wydzielonych podrozdziałów, w których czytelnik znajdzie szczegółową charakterystykę opisanych zagadnień.

Rozdział pierwszy *Podstawowe wiadomości o dymach* zawiera charakterystykę dymu jako określonego stanu koloidalnego.

Rozdział drugi *Charakterystyka procesów powstawania dymów* opisuje różne stany dymów w zależności od źródła pochodzenia. Również przedstawia podział substancji i mieszanek dymotwórczych z wojskowego punktu widzenia.

Rozdział trzeci *Właściwości i procesy fizyczno – chemiczne zachodzące w dymach* zawiera opis dynamicznych procesów fizycznych i chemicznych charakterystycznych dla dymów.

Rozdział czwarty *Wymagania stawiane środkom dymotwórczym i dymom* zawiera charakterystykę właściwości fizycznych i chemicznych jakim powinny odpowiadać dymy.

Rozdział piąty *Podstawowe właściwości maskujące dymów i mgieł* przedstawia charakterystykę dymów i mgieł jako przeszkody dla światła widzialnego.

Rozdział szósty *Wpływ warunków atmosferycznych oraz rzeźby terenu na zachowanie się obłoku dymnego* opisuje typowe zjawiska atmosferyczne i ich wpływ na trwałość obłoku dymnego w warunkach różnej rzeźby terenu.

Rozdział siódmy *Charakterystyka sprzętu i środków zadymiania stosowanych w wojsku* zawiera dane taktyczne i techniczne zasadniczych środków i sprzętu do stawiania zasłon dymnych.

Dla ułatwienia samokontroli procesu uczenia się studentów (kadetów), po każdym rozdziale podano pytania kontrolne obejmujące zakres wiadomości podlegających egzekwowaniu podczas zaliczenia przedmiotu.

Wprowadzenie

Nauki techniczne takie, jak chemia i fizyka zajmują się badaniem własności fizycznych i chemicznych ciał, ich przemianami oraz ustaleniem praw, które tymi przemianami kierują. Badają ciężary atomowe i cząsteczkowe oraz określają wzory, na podstawie których można przewidzieć charakter i własności danego związku. Na to jednak, aby scharakteryzować w sposób dokładny określony związek chemiczny i zbadać jego własności, należy otrzymać ten związek w czystym stanie, tak aby różne przypadkowe domieszki nie zamaskowały jego istotnych własności.

Dlatego też wysiłki naukowców zmierzały już od dawna w kierunku opracowania metod oczyszczania ciał. Najbardziej skuteczną i od dawna znaną metodą oczyszczania ciał stałych jest krystalizacja, podobnie jak ciał ciekłych destylacja.

Konieczność operowania w badaniach chemicznych substancjami czystymi zmusiła naukowców do zwrócenia uwagi przede wszystkim na ciała krystaliczne, dające się łatwo oczyścić. Oczyszczone ciało krystaliczne wykazuje ściśle określone właściwości fizyczne i chemiczne, jak temperatury topnienia i wrzenia, określony ciężar cząsteczkowy, gęstość, przewodnictwo cieplne, elektryczne itp.

Jednak oprócz tych ciał, dających się łatwiej lub trudniej otrzymać w stanie krystalicznym, istnieje jeszcze wiele innych, których nie udało się ani dawniej ani też dzisiaj dokładnie zidentyfikować. W tej właśnie grupie znajdują się *koloidy* o wielkich ciężarach cząsteczkowych, małych efektach osmotycznych, nie ulegające w zwykłych warunkach krystalizacji.

Początki badań naukowych nad koloidami rozpoczęły się stosunkowo późno, gdyż dopiero w drugiej połowie XIX wieku, chociaż drobne wzmianki na ten temat można znaleźć znacznie wcześniej. Na przykład w słowniku Macquera¹, z 1774 roku, można spotykać wzmiankę, że złoto koloidalne, tak zwane *aurum porabile*, nie jest właściwie roztworem, lecz układem złożonym z drobnych cząsteczek złota metalicznego, zawieszonych w wodzie.

Właściwym twórcą nauki o koloidach jest badacz angielski *Thomas Graham*. Graham stwierdził, że pod względem zdolności dyfundowania² możemy podzielić wszystkie ciała na dwie grupy:

1. ciała ulegające łatwo dyfuzji np.: cukier, chlorek sodowy itp.
2. ciała trudno dyfundujące np.: białko jajka, krochmal itp.

Przykładowe wartości czasu dyfuzji wybranych ciał zawiera tab. 1.

Tablica 1

*Dyfuzja ciał rozpuszczonych*³

Nazwa ciała	Czas dyfuzji w jednostkach Porównawczych
kwas solny	1,00
chlorek sodowy	1,33
cukier	7,00
siarczan magnezowy	7,00
karmel	48,00
białko jaja kurzego	99,00

Zródło: A. Basiński „Zarys fizykochemii koloidów”

W tablicy 1 zostały podane wyniki pomiarów szybkości dyfuzji różnych ciał uzyskane przez Grahama. W pierwszej kolumnie podano nazwę ciała, w drugiej zaś czas dyfuzji w jednostkach względnych w odniesieniu do jednakowej drogi dyfuzyjnej.

Rozpatrując zdolność dyfuzji różnych ciał Graham zwrócił uwagę na fakt, że te ciała, które w roztworze dobrze dyfundują, jednocześnie dobrze krystalizują w zwykłych warunkach, podczas gdy ciała wolno dyfundujące na ogół nie krystalizują, wydzielając się podczas odparowywania jako lepkie masy bezpostaciowe. Ciała trudno dyfundujące i nie krystalizujące w zwykłych warunkach nazwał Graham *koloidami*, to

¹ Macquer „Dictionare de Chimie” Paryż 1774 r.

² dyfuzja - samorzutne mieszanie się składników układu w wyniku chaotycznego ruchu atomów i cząsteczek. Występuje w gazach, cieczach i ciałach stałych. W gazach jest najszybsza a w ciałach stałych najwolniejsza. Por.: 1000 słów o chemii i bronii chemicznej, Praca zbiorowa, Wyd. MON, Warszawa 1987 r.

³ por.: A. Basiński, Zarys fizykochemii koloidów, PWN, Warszawa 1957 r.

Na podstawie licznych badań mających na celu otrzymanie roztworów koloidalnych stwierdzono, że przy zapewnieniu odpowiednich warunków można wprowadzić do ośrodków dyspersyjnych liczne ciała powodując tym fakt, że otrzymane tak układy, pod względem cech zewnętrznych, nie różnią się od roztworów rzeczywistych. Zjawisko to zostało wykorzystane do tworzenia mieszanek dymotwórczych, które znalazły zastosowanie na polu walki również w działaniach bojowych na morzu.

Rozdział I

PODSTAWOWE WIADOMOŚCI O DYMACH

1.1. Aerozole i ich właściwości

Różnorodne układy, które składają się z najdrobniejszych cząstek zawieszonych w środowisku gazowym noszą ogólną nazwę układów aerodispersyjnych lub inaczej aerozoli⁴.

Do aerozoli zalicza się mgły i obłoki występujące w przyrodzie, pył atmosferyczny, wulkaniczny i kosmiczny, dymy tworzące się na skutek niepełnego spalania paliwa w transportowych i przemysłowych paleniskach i silnikach, gazy odlotowe wydzielające się przy procesach chemicznych, pył tworzący się przy mechanicznej obróbce materiałów oraz sztucznie otrzymywane dymy, słowem wszystko to co nazywamy mgłą, dymem, pyłem, sadzami, obłokiem itp.

Posługując się bardziej ścisłym podejściem - układem aerodispersyjnym jest również samo powietrze atmosferyczne, zawierające zawsze pewną ilość pyłu, jonów gazowych i mgły wodnej.

We wszystkich takich układach powietrze, w którym zawieszono są cząstki, jest środowiskiem dyspersyjnym, a same stałe lub ciekłe cząstki tworzą fazę dyspersyjną (rozproszoną).

Nie sposób nie wspomnieć w tym miejscu o pojęciu stopnia dyspersji układów koloidalnych. Pierwszy użył go niemiecki naukowiec Ostwald, który zamiast podawać promień cząstki koloidalnej lub jej krawędzi, dla charakterystyki układu koloidalnego zaproponował wprowadzenie tak zwanego *stopnia dyspersji*. Idąc za Ostwaldem

⁴ por. J.I. Wejcer, G.P. Łuczyński, Dymy maskujące. Wyd. MON. W-wa 1954 r.

„stopniem dyspersji układu nazywa się stosunek powierzchni rozgraniczającej fazę rozproszoną od ośrodka dyspersyjnego do zajmowanej przez nią objętości”.

$$D = \frac{S}{V} = \frac{\text{powierzchnia fazy rozproszonej}}{\text{objętość fazy rozproszonej}} \quad / 1 /$$

W miarę wzrastającego rozdrobnienia danej masy fazy rozproszonej na coraz mniejsze cząstki, zwiększa się wybitnie wielkość powierzchni S , natomiast objętość V pozostaje bez zmiany. Stąd wypływa wniosek, że w miarę rozdrabniania cząstek koloidalnych wzrasta również i stopień dyspersji D .

Jeżeli założyć, że cząstki mają kształt sześcianów o krawędzi a , to stopień dyspersji będzie równy:

$$D = \frac{6a^2}{a^3} = \frac{6}{a} \quad / 2 /$$

Zakładając natomiast, że cząstki mają kształt kulisty o promieniu r znajdziemy analogicznie:

$$D = \frac{4\pi r^2}{1,33\pi r^3} = \frac{3}{r} \quad / 3 /$$

Z wyprowadzonych wzorów widać, że stopień dyspersji układu jest odwrotnie proporcjonalny do krawędzi, względnie promienia cząstki koloidalnej.

Tablica 2

Zależność stopnia dyspersji układu od odległości krawędzi cząstki koloidalnej⁵

Krawędź sześcianu $a / \text{cm} /$	Liczba cząstek n	Powierzchnia fazy rozproszonej $S / \text{cm}^2 /$	Stopień dyspersji $D / \text{cm}^{-1} /$
1	1	$6 \cdot 10^0$	$6 \cdot 10^0$
$1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^1$	$6 \cdot 10^1$
$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^6$	$6 \cdot 10^2$	$6 \cdot 10^2$
$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^9$	$6 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$
$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{12}$	$6 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^4$
$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{15}$	$6 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^5$
$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{18}$	$6 \cdot 10^6$	$6 \cdot 10^6$
$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{21}$	$6 \cdot 10^7$	$6 \cdot 10^7$
$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{24}$	$6 \cdot 10^8$	$6 \cdot 10^8$

⁵ opracowanie własne autorów na podstawie zebranych informacji

Dla lepszego zobrazowania zmiany stopnia dyspersji układu wraz ze zmianą wielkości cząstki koloidalnej można założyć, że substancja mająca formę sześcianu o krawędzi 1cm ulega stopniowemu rozdrabnianiu, a krawędzie utworzonych przez rozdrabnianie cząstek, mających również kształt sześcianu, zmniejszać się będą dziesięciokrotnie w porównaniu z krawędzią cząstek poprzedniej wielkości.

W tablicy 2 zestawione są dane, wskazujące w jaki sposób wzrasta stopień dyspersji D i powierzchnia całkowita układu S, w miarę zmniejszania się krawędzi a cząstki koloidalnej. Zakłada się przy tym oczywiście, że łączna objętość cząstek V pozostaje bez zmiany, czyli że równa jest 1 cm^3 .

Jedną z bardziej miarodajnych klasyfikacji aerozoli jest klasyfikacja w której wzięto za podstawę dwa kryteria : wielkość cząstki i stan skupienia fazy dyspersyjnej.

W oparciu o te założenia aerozole można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

1. Właściwe aerozole lub dymy i mgły o wymiarach cząstek poniżej 10^{-3} cm , będące rzeczywistymi układami koloidalnymi.
2. Pyły lub grube zawiesiny, których wielkość cząstek przewyższa wymiar 10^{-3} cm .

Innym przykładem klasyfikacji rzeczywistych układów koloidalnych jest ich podział w zależności od stanu skupienia ośrodka dyspersyjnego i fazy rozproszonej, który ilustruje tab. 3.

Tablica 3

Podział koloidów w zależności od stanu skupienia ośrodka dyspersyjnego i fazy rozproszonej (według Ostwalda)⁶

Ośrodek dyspersyjny	Faza rozproszona	Przykłady	Nazwa
GAZ	GAZ	Układy koloidalne tego rodzaju nie istnieją, gdyż gazy mieszają się cząsteczkowo.	
	CIECZ	mgła chmury, kondensujące się pary	mgły
	CIAŁO STAŁE	kurz, dym, cząstki węgla w płomieniu Bunsena	gazozole
CIECZ	GAZ	pęcherzyki gazów w cieczy np. w krytycznym obszarze skraplania gazów, piana mydlana	piany, zole
	CIECZ	mleko, emulsja tłuszczu w wodzie, roztwór żelatyny, białka	liozone (emulsje koloidalne)
	CIAŁO STAŁE	zole metali, siarczków, tlenków i wodorotlenków metalicznych	liozone(zawiesiny koloidalne, suspensje)
CIAŁO STAŁE	GAZ	pumeks, okluzje gazowe w minerałach	piany stałe
	CIECZ	kwarc mleczny, kryształy z okludowaną wodą hydratacyjną	piany stałe
	CIAŁO STAŁE	szkło rubinowe, perły fosforowe, kryształki chlorku sodowego zabarwione przez koloidalne cząstki metalicznego sodu	zole stałe

⁶ por. A. Basiński, Zarys fizykochemii koloidów, PWN, W-wa 1957 r.

Z przedstawionych powyżej klasyfikacji wynika, że dymami nazywa się aerozole, w których jako faza dyspersyjna występują cząstki stałe, mgłami natomiast nazywamy aerozole, których faza dyspersyjna składa się z kropeł cieczy.

Jednak takie klasyfikacje nie zawsze są celowe, ponieważ układy aerozoli mogą zawierać jednocześnie stałe i ciekłe cząstki. Oprócz tego zachowanie się aerozoli określa się w zasadzie nie stanem skupienia fazy dyspersyjnej a wymiarami cząstek aerozoli, od których zależy ważna właściwość obłoków dymnych - ich trwałość.

Wychodząc z tego założenia, w literaturze angielskiej dymami (smokes) nazywa się właściwe aerozole o wymiarach cząstek od 10^{-5} do 10^{-7} cm nie opadające pod wpływem siły ciężkości, a mgłami (clouds) nazywa się aerozole o wymiarach cząstek od 10^{-3} do 10^{-5} cm opadające pod wpływem tej siły.

Mówiąc ściślej - substancje, z których powstają aerozole (tak dymy jak i mgły) należy nazywać substancjami wytwarzającymi aerozole, a procesy przy tym przebiegające - procesami wytwarzania aerozoli. Jednak dla określenia substancji wytwarzającej aerozole w ogóle i procesów ich otrzymywania, literatura zwykle posługuje się terminami: *substancja wytwarzająca dym* i *wytwarzanie dymów*, niezależnie od stanu skupienia fazy dyspersyjnej.

Takie ogólne znaczenie ma również słowo *dym*, oznaczające w niektórych przypadkach nie tylko aerozole z fazą dyspersyjną stałą lecz w ogóle jakiegokolwiek aerozole. Szczególnie zaś odnosi się to do literatury wojskowej, w której nie jest przeprowadzone wyraźne rozgraniczenie pomiędzy dymem lub mgłą, tworzącymi jakiegokolwiek układ aerodispersyjny.

1.2. Charakterystyka koloidów

Z chwilą kiedy stwierdzono, że wszystkie ciała krystaliczne można zasadniczo otrzymać w postaci koloidalnej, kiedy w licznych przypadkach udowodniono, że ciała typowo koloidalne mają budowę mikrokrystaliczną, kiedy wreszcie stwierdzono, że to samo ciało zależnie od ośrodka może wykazywać własności albo koloidu, albo krystaloidu, podział ciał na koloidalne i krystaliczne zatracił swój sens fizyczny. W dniu dzisiejszym nauka stoi na stanowisku, że nie ma ciał koloidalnych i ciał niekoloidalnych, a istnieje tylko pewien stan koloidalny, który jest stanem skupienia

materii równie powszechnym jak stan gazowy, ciekły i stały. Cechą charakterystyczną stanu koloidalnego jest odpowiedni stopień rozdrobnienia układu.

Dlatego też, wszystkie substancje przechodzące w stan aerozolu, w stan koloidalny, do pewnego stopnia zmieniają swoje właściwości (odnosi się to do własności fazy dyspersyjnej substancji). Przyczyną tych zmian jest znaczne zwiększenie powierzchni właściwej⁷ i energii powierzchniowej substancji przy jej przejściu w stan koloidalny (dyspersyjny). Naturalnym jest, że ta okoliczność powoduje podwyższenie aktywności chemicznej substancji, i przyspiesza fizyczne i fizyczno - chemiczne procesy w niej zachodzące. Dlatego też reakcje zachodzące stosunkowo wolno w warunkach normalnych, w stanie koloidalnym przebiegają bardzo szybko. Sam fakt rozdrobnienia substancji na cząstki o małych wymiarach i tworzenie się aerozoli (koloidów) jest przyczyną występowania nowych własności. Na przykład na skutek współmierności wymiarów cząstek dymów z molekułami gazowymi cząstki dymu pod wpływem uderzeń tychże molekuł wykonują ciągłe nieuporządkowane ruchy we wszystkich kierunkach, znane pod nazwą ruchów Browna (zjawisko to zostanie omówione w dalszej części rozdziału). Ten sam rząd wielkości wymiarów cząstek aerozoli i długości fali światła widzialnego wraz z ogromną powierzchnią właściwą aerozoli jest przyczyną zjawisk optycznych, w wyniku których obłok aerozolu nabiera właściwości maskujących.

Z powodu znacznej energii powierzchniowej aerozole, tak jak i pozostałe układy koloidalne, są bardzo nietrwałe, szybko zmieniają swoje właściwości i łatwo ulegają zniszczeniu.

Dzieje się tak w przeciwieństwie na przykład do koloidów o środowisku dyspersyjnym ciekłym (hydrozole), które mogą istnieć w niezmienionej formie czasami przez okres wielu miesięcy, podczas gdy aerozole istnieją tylko kilka godzin i dodatkowo znajdują się przy tym w stanie ciągłych zmian.

Taką szczególną nietrwałość aerozoli, w porównaniu z hydrozolami można wyjaśnić niektórymi ich specyficznymi właściwościami, w pierwszym rzędzie właściwościami środowiska dyspersyjnego (powietrza), a także własnościami fazy dyspersyjnej. Powietrze w porównaniu z wodą ma bardzo małą gęstość (800 razy

⁷ powierzchnia właściwa jest to powierzchnia jednostki objętości substancji. Jeżeli dla 1 cm^3 substancji powierzchnia wynosi 6 cm^2 , to dla tego samego 1 cm^3 , rozdrobnionego na cząstki o promieniu $1 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$ powierzchnia wynosi $6 \cdot 10^8 \text{ cm}^2$

mniejszą) i lepkość (50 razy mniejszą). Z tego powodu, a także na skutek większej gęstości fazy dyspersyjnej, ruch cząstek prowadzący do zniszczenia koloidu zachodzi znacznie szybciej, niż w przypadku hydrozoli.

Drugą przyczyną nietrwałości aerozoli jest mała ilość jonów znajdujących się w powietrzu, w porównaniu z ilością jonów znajdujących się w wodzie.

Zagadnienia do dyskusji i samokontroli

1. Zjawisko dyspersji
2. Definicja koloidu i aerozolu
3. Własności stanu koloidalnego
4. Klasyfikacja aerozoli

Rozdział II

ZASADNICZA CHARAKTERYSTYKA DYMÓW

Dymy i mgły charakteryzują się od strony ilościowej przede wszystkim stężeniem i wymiarami cząstek. Stężenie jest to ilość fazy dyspersyjnej zawarta w jednostce objętości obłoku dymnego, przy czym rozróżnia się stężenie wagowe i cząstkowe.

Stężeniem wagowym dymu nazywamy ilość substancji fazy dyspersyjnej w gramach lub miligramach, zawartą w 1 cm³ obłoku dymu.

Stężenie cząstkowe jest to ilość cząstek znajdujących się w fazie dyspersyjnej w 1 cm³ lub 1 mm³ obłoku dymu.

Tablica 4

Wagowe i cząstkowe stężenia niektórych aerozoli.⁸

Skład fazy dyspersyjnej	stężenie wagowe [g · m ⁻³]	stężenie cząsteczkowe (ilość cząstek w 1 cm ³)
kwas stearynowy	0,01 - 0,03	5 · 10 ⁶ - 3 · 10 ⁵
tlenek cynku	0,2 - 0,7	3 · 10 ⁶ - 1 · 10 ⁶
kwas siarkowy	0,1 - 0,15	5 · 10 ⁶ - 4 · 10 ⁵
olej (maszynowy)	3,0 - 30,0	2 · 10 ⁵
woda (mgły i obłoki)	1,2	-
chlerek amonu	do 2	1 · 10 ⁷ - 1 · 10 ⁶
węgiel kamienny (powietrze w kopalniach węgla)	do 65	do 10 ⁵

⁸ por. J.I. Wejcer, G.P. Łuczyński, Dymy maskujące, Wyd. MON, W-wa 1954 r

Wagowe stężenie różnych dymów i mgieł zmienia się w dość szerokich granicach, jednak tylko aerozole o niewielkim stężeniu wagowym są trwałe. Aerozole o stężeniach wagowych przewyższających dziesiąte części grama na 1 cm^3 są nietrwałe i ich stężenie wagowe stopniowo zmniejsza się z powodu wydzielania się fazy dyspersyjnej ze środowiska dymnego. Natomiast przy stężeniu cząstkowym widać, że bardziej trwałe, wolniej osadzające się dymy, to te w których stężenie cząstkowe zawarte jest w granicach $10^5 - 10^6$ cząstek w 1 cm^3 .

Stężenie wagowe i cząstkowe łącznie określają stopień dyspersji lub wielkość cząstek dymu.

Mówiąc o wymiarach cząstek dymów trzeba rozróżniać rzeczywiste wymiary pojedynczych cząstek oraz średnią wielkość, którą można znaleźć za pomocą stężeń: wagowego i cząstkowego. Najczęściej obłok aerozolu jest *polidispersyjny* to znaczy, że zbudowany jest z cząstek o różnych wymiarach. Tylko za pomocą specjalnych metod możliwe jest otrzymanie, na pewien okres czasu, obłoków składających się z cząstek o podobnych wymiarach. Takie dymy nazywamy *izodispersyjnymi* lub *monodispersyjnymi*.

W układach izodispersyjnych średni wymiar promienia cząstek, oznaczany zwykłymi metodami kinetycznymi (dyfuzja, ciśnienie osmotyczne) odpowiada ich rzeczywistym wymiarom. W układach polidispersyjnych rzeczywiste wymiary cząstek odchylają się w mniejszym lub większym stopniu od średnich wymiarów znalezionych za pomocą stężenia wagowego i cząstkowego.

Tablica 5

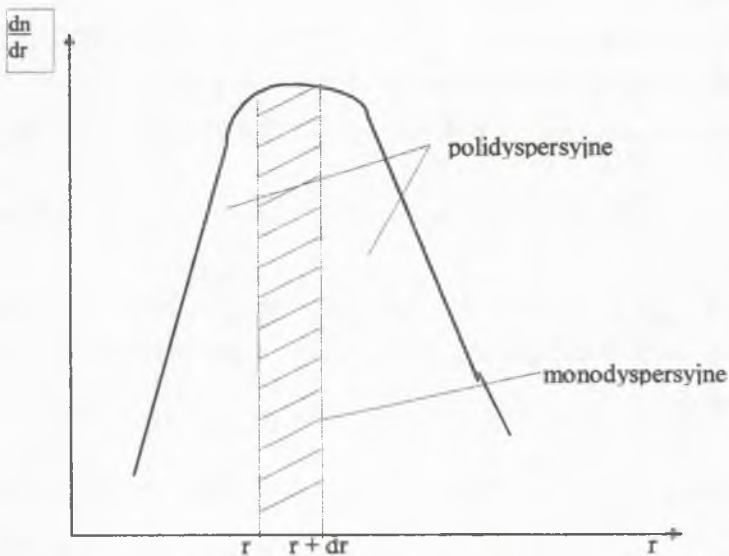
Wymiary cząstek niektórych aerozoli.⁹

aerozol	średni promień (1/2 średnicy) cząstek [cm]
dym kwasu stearynowego	$1 \cdot 10^{-5}$
sucha mgła wodna	$2,5 \cdot 10^{-5}$
mgła kwasu siarkowego	$4 \cdot 10^{-5} - 8 \cdot 10^{-5}$
czarny dym palenisk kotłowych	$1 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-5}$
obłoki wodne	$5 \cdot 10^{-4} - 3 \cdot 10^{-3}$
dym tytoniowy	$1,7 \cdot 10^{-5}$
gazy pieców cementowych	$4 \cdot 10^{-4} - 3 \cdot 10^{-3}$
dym mieszanek ze świec japońskich	$2,5 \cdot 10^{-5} - 3,5 \cdot 10^{-5}$
mgła kwasu fosforowego	$5 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-4}$

⁹ por. J.I.Wejcer, G.P. Łuczyński „Dymy maskujące” Wyd. MON. W-wa 1954 r.

Tablica 5 przedstawia średnie wymiary cząstek niektórych aerozoli. Jak wspomniano wcześniej wymiary te będą charakterystyczne dla układów aerozoli izodispersyjnych. Układy polidispersyjne charakteryzować się będą pewnymi odchyłkami od wartości znalezionych za pomocą stężenia wagowego i cząstkowego.

Pełniejszy obraz omawianego problemu zamieszczony został na rys.1 charakteryzującym rozdział cząstek według ich wielkości.



Rys.1. Krzywa rozdziału cząstek według ich wielkości.

Jeżeli na osi odciętych będziemy odkładali promienie cząstek r , a na osi rzędnych wielkości dn/dr , gdzie n oznacza procentową zawartość cząstek o promieniu r , to otrzymamy krzywą rozdziału (rys.1). Krzywa ta wskazuje (w %) jaką część (liczby, masy lub objętości cząstek) zajmują w całym układzie cząstki określonej wielkości. Zakreślona powierzchnia między wartościami promienia r i $r + dr$ odpowiada liczbie cząstek o wielkościach w granicach wielkości znalezionych za pomocą stężenia wagowego i cząstkowego.

Jak wspomniano już wcześniej promienie cząstek aerozoli leżą w granicach 10^{-5} do 10^{-3} cm. Średni promień cząstek dymów i mgieł stosowanych do maskowania leży w węższych granicach i zawiera się w przedziale $2 \cdot 10^{-5}$ do $8 \cdot 10^{-5}$ cm. Wyjątek stanowi dym czarny, który składa się z zespołu cząstek o większych wymiarach.. Cechą charakterystyczną jest, że kształt cząstek mgły jest zawsze kulisty, natomiast cząstki

dymu posiadają różną krystaliczną i iglastą strukturę oraz są zwykle cząstkami - zespołami składającymi się z cząstek drobniejszych.

2.1. Metody otrzymywania dymów i mgieł

Aby otrzymać układ koloidalny (również aerozol) należy rozdrobnić to ciało, które ma tworzyć fazę rozproszoną aż do powstania cząstek o wymiarach charakterystycznych dla stanu koloidalnego. Ponieważ cząstki koloidalne mają wymiary od 1μ do $1 \text{ m}\mu$ to znaczy, że są większe od wymiarów cząsteczek i jonów, a mniejsze od wymiarów cząstek makroskopowych, dlatego oczywistym jest, że do stanu koloidalnego a co się z tym wiąże do stanu dymów lub mgieł możemy dojść dwiema drogami:

1. Wyjść z ciał masywnych, makroskopowych i przez rozdrabnianie ich dojść do stanu koloidalnego.
2. Wyjść z ciał o rozdrobnieniu cząsteczkowym, na przykład z roztworów rzeczywistych i przez kondensację jonów lub cząsteczek dojść do wymiarów koloidalnych.

Pierwsze z tych metod noszą nazwę dyspersyjnych, drugie metod kondensacyjnych.

Dzieje się tak dlatego, że układy koloidalne należą do układów dyspersyjnych granicząc z jednej strony z układami o rozdrobnieniu cząsteczkowym, charakteryzującym roztwory rzeczywiste, z drugiej zaś strony z układami o rozdrobnieniu mechanicznym. Wynika stąd, że jeżeli przechodzimy od układów makrodyspersyjnych do układów o rozdrobnieniu cząsteczkowym lub odwrotnie, musimy napotkać zawsze stan pośredni, stan koloidalny.

Układy o rozdrobnieniu mechanicznym \Rightarrow **KOLOIDY** \Leftarrow Układy o rozdrobnieniu cząsteczkowym

Podczas rozdrabniania ciał (metody dyspersyjne) powierzchnia każdej pojedynczej cząstki staje się oczywiście znacznie mniejsza od powierzchni ciała wyjściowego, jednak powierzchnia całkowita, ograniczająca wszystkie cząstki fazy

rozproszonej, na które rozpada się ciało rozdrabniane, bardzo mocno wzrasta. Odwrotnie zaś dzieje się przy stosowaniu metod kondensacyjnych - w czasie łączenia się cząstek na agregaty następuje proces zmniejszania się powierzchni całkowitej.

Ponieważ napięcie powierzchniowe, zgodnie z drugą zasadą termodynamiki dąży do zmniejszania powierzchni, co jest równoznaczne zmniejszeniu energii swobodnej, dlatego też procesy kondensacyjne napotkać można znacznie częściej niż procesy dyspersyjne.

2.2. Dyspersja

Wszystkie metody dyspersyjne (metody rozpraszania lub rozdrabniania) sprowadzają się do tego, że stałe lub ciekłe ciała rozdrabnia się na mniejsze cząstki, przy czym przez odpowiednią intensywność rozdrabniania osiąga się ten lub inny stopień dyspersji. Samo rozdrabnianie urzeczywistnia się przez mechaniczne pokonanie siły wzajemnego przyciągania się cząstek między sobą (kohezja).

Wszystkie procesy dyspersyjne ujawniają się tylko kosztem pracy włożonej i z chwilą ustania tej pracy zatrzymują się.

Mechanizm procesów dyspersyjnych, przebiegających w środowisku gazowym jest cały czas odkrywany. Oczywiście, praca zużyta na rozdrobnienie jest proporcjonalna do powierzchni tworzących się cząstek i powinna wzrastać wraz z powiększaniem się powstającego stopnia dyspersji. Uzyskanie cząstek o wymiarach aerozoli przez bezpośrednie rozdrabnianie wymaga olbrzymiej ilości energii i praktycznie rzecz biorąc jest nieosiągalne. W sprzyjających warunkach powstają wielkocząstkowe, szybko osadzające się aerozole.

2.2.1. Dyspersja mechaniczna

Rozdrabnianie ciał nadaje im bardzo cennych własności i dlatego ma duże znaczenie przemysłowe. Z tego powodu zwrócono już dawno uwagę na opracowanie wygodnych i tanich metod rozdrabniania.

Przy rozcieraniu substancji stałych można z nich otrzymać pył, ale nie można przy tym otrzymać wysokiego stopnia dyspersji. Rozcieranie substancji na przykład w młynku nie daje zwykle dostatecznego rozdrobnienia, ponieważ oddzielne

cząstki ściśle łączą się między sobą. Można tego uniknąć dodając do rozcieranej substancji inny środek nie reagujący z pierwszym i różniący się od niego gęstością.

Ta obojętna substancja przy rozcieraniu nie pozwala oddzielnym pyłkom na tworzenie większych zespołów. Przy rozwiewaniu rozcieranego proszku (niekiedy za pomocą sprężonego gazu) w powietrzu wytwarza się drobny, ale szybko osadzający się pył. Na przykład pył młyński, który wytwarza się w powietrzu przy rozcieraniu najdrobniejszego pyłu mąki, zawiera cząstki o stosunkowo niskim stopniu dyspersji [10^3 cm]. To samo można powiedzieć o pył węglowy w kopalniach i pył z elewatorów zbożowych. Stosując kolejno rozdrabnianie i odsiewanie można otrzymać stopień dyspersji równy jednemu mikronowi (10^{-4} cm). Co prawda w 1920 roku rosyjski inżynier Plausson zbudował tak zwany młyn koloidalny, pozwalający na rozdrabnianie substancji na cząstki o większym stopniu dyspersji, ale ten sposób nie ma zastosowania przy wytwarzaniu dymów maskujących.

2.2.2. Rozpylanie cieczy

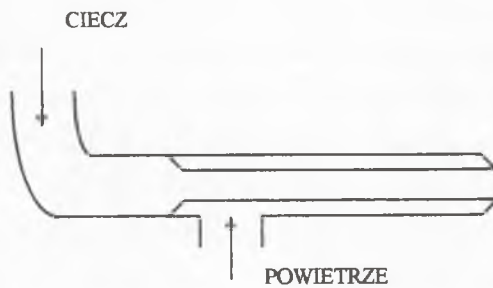
Rozpylanie cieczy można przeprowadzić za pomocą metod: hydraulicznej i pulweryzacji. Metoda hydrauliczna polega na tym, że ciecz pod silnym ciśnieniem wprowadza się do rurki o małej średnicy. Skutkiem rozpadu strugi następuje wytwarzanie się kropli, które w trakcie ruchu w powietrzu ulegają dalszemu rozdrobieniu. W rezultacie oporu powietrza w kropli zachodzi wirowy ruch cieczy i powstają napięcia w kierunku powierzchni kropli. Jeżeli napięcia te są większe od ciśnienia wytwarzanego pod działaniem sił napięcia powierzchniowego, to wtedy następuje rozerwanie kropli. Przy szybkości strugi $50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ i lepkości cieczy około $10^{-1} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ¹⁰, krytyczny rozmiar kropel, na które rozpada się ciecz wynosi w przybliżeniu 1 mm. W ten sposób rozpylanie hydrauliczne nie prowadzi do wytwarzania się cząstek rzędu aerozoli. W praktyce wytwarzania dymów rozpylanie hydrauliczne może być użyte tylko jako czynnik pomocniczy, ułatwiający odparowanie substancji wytwarzających dym.

Metoda pulweryzacji polega na rozpyleniu przez uderzenie cieczy o stałą lub ciekłą powierzchnię albo też przez zetknięcie się strugi cieczy ze strugą gazu, dzięki

¹⁰ ($\text{Pa}\cdot\text{s}$) - paskalosekunda - lepkość dynamiczna jaką ma jednorodny płyn, gdy podczas prostoliniowego ruchu laminarnego powierzchnie równych prędkości są równoległymi płaszczyznami na których występują naprężenia styczne do 1 Pa jeżeli różnica prędkości płynu w odległych od siebie o 1m. płaszczyznach równych prędkości wynosi $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ $1 \text{ Pa}\cdot\text{s}=1\text{Pa}[(1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}):(1\text{m.})]$.

czemu możemy otrzymać układy bardziej rozproszone niż w przypadku metody hydraulicznej.

Podczas pulweryzacji początkowo zachodzi bezpośrednie rozdrobnienie cieczy na stosunkowo wielkie krople wskutek gwałtownego uderzenia o twardą powierzchnię i napotkania strugi gazu. Równocześnie podczas pulweryzacji tworzą się cieniutkie błonki cieczy, które posiadają olbrzymią powierzchnię i energie powierzchniową, i z tego powodu są bardzo nietrwałe. Do pulweryzacji używa się rozpylaczy różnych konstrukcji. Jeden z nich przedstawiony został na rys. 2.



Rys.2 Pulweryzator.

Przedstawiony powyżej pulweryzator składa się z dwóch współśrodkowych rurek. Przez wewnętrzną przepływa z ogromną szybkością liniowo ciecz, przez zewnętrzną powietrze. Ciecz przy wyjściu z wewnętrznej rurki styka się ze strugą powietrza i zostaje przy tym rozbita na małe krople. Rozdrobnienie ich jest niewielkie i dlatego powstająca na wyjściu z pulweryzatora mgła jest nietrwała. Stopień dyspersji można zwiększyć jeżeli uda się rozbić powstające krople na mniejsze. Można to osiągnąć ustawiając na ich drodze (u wylotu rurki) twardą powierzchnię w położeniu ukośnym. Intensywność rozdrabniania można jeszcze zwiększyć jeżeli twardą powierzchnię wprawimy w szybki ruch obrotowy.

Przy pulweryzacji stopień dyspersji wytwarzającej się mgły zależy przede wszystkim od energii uderzania cieczy o rozbijającą ją powierzchnię, to znaczy od wzajemnej prędkości zderzania się cieczy i gazu. Jest ona również uzależniona od

gęstości, lepkości i napięcia powierzchniowego cieczy. Im mniejsze będą te wielkości, tym łatwiej, przy danej energii pulweryzacji otrzymać bardziej rozdrobnioną mgłę. Dlatego też ogrzewanie cieczy prowadzące do zmniejszenia jej gęstości, lepkości i napięcia powierzchniowego powinno ułatwić proces rozpylania.

Podwyższenie średniego rozdrobnienia mgły, otrzymanej przez pulweryzację cieczy, może być dokonane przez przepuszczanie mgły poprzez spiralną rurkę - w trakcie tego procesu wielkie cząstki osiadają na ściankach rurki, a małe unoszone są prądem gazu.

Dyspersja mgły podwyższa się także, jeżeli pierwotnie otrzymane kropelki mgły podlegają odparowaniu.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że przy zastosowaniu najlepszych nawet rozpylaczy energia użyta bezpośrednio na wytworzenie nowej powierzchni jest tylko niewielką częścią całej energii włożonej. Znaczna część tej energii zużywana jest na pokonanie sił tarcia, powstałego przy ruchu cieczy w rozpylaczu i w ten sposób nie może być wykorzystana do samego procesu rozpylania. Dlatego jeżeli ciśnienie gazu, który powoduje rozpylenie, jest niewielkie, otrzymuje się mgłę o stosunkowo niskim stopniu dyspersji. Wytworzenie trwałej mgły wymaga użycia większych ciśnień, co związane jest z koniecznością znacznego zwiększenia wymiarów aparatury.

2.3. Kondensacja

Kondensacja cząstek stanowi proces złożony i jeszcze w szczegółach nie do końca rozwiązany teoretycznie. Istota kondensacyjnych metod wytwarzania dymów i mgieł polega na tym, że substancja rozdrobniona początkowo na oddzielne molekuly (stan gazu lub pary) *zagęszcza* się, stopniowo tworząc większe zespoły. To zagęszczanie, czyli kondensacja, może zajść tylko w takim przypadku, jeśli para wypełnia całą przestrzeń. W ten sposób proces kondensacyjny wytwarzania dymów zachodzi w dwóch stadiach:

1. wytwarzanie pary przesyconej,
2. właściwa kondensacja pary przesyconej.

Procesy kondensacji tym różnią się od procesów dyspersyjnych, że kondensacja raz rozpoczęta przebiega dalej samorzutnie z wywiązaniem się energii. Przy sztucznym otrzymywaniu dymów metodą kondensacji wszystkie wysiłki idą w kierunku otrzymania pary przesyconej, co może być osiągnięte w dwojaki sposób : przez

schłodzenie ogrzanej pary, lub wytworzenie za pomocą reakcji chemicznych substancji nasycających swoimi parami przestrzeń, czyli substancji o dość małej prężności pary.

2.3.1. Kondensacja poprzez schładzanie pary

Maksymalne stężenie i odpowiadająca mu prężność pary nasyconej ma dokładnie określoną wielkość dla każdej substancji w danej temperaturze. Przy obniżaniu temperatury zmniejsza się prężność pary nasyconej i maksymalne stężenie. Dlatego też, jeśli ochłodzić powietrze nasycone parą, to stężenie pary zwiększy się. Nadmiar pary przesyca przestrzeń i nastąpi kondensacja - powstaną kropelki mgły.

Kondensacja pary przesyconej zachodzi w tak zwanych ośrodkach kondensacji (jądrach) lub zarodkach kondensacji¹¹. Ośrodki kondensacji mogą tworzyć się w parze przesyconej samorzutnie w postaci zespołu molekuł, albo też są to cząstki pyłu, molekuly higroskopijnych substancji lub jony gazowe.

Samorzutne wytwarzanie się ośrodków kondensacji w parze przesyconej zachodzi skutkiem miejscowych wahań (fluktuacji) gęstości pary. Z tego powodu w oddzielnych punktach powstają ogromne przesylenia, wielokrotnie przewyższające średni stopień przesylenia całego układu. Dzięki zachodzącym w tych punktach zderzeniom molekuł i kondensacji pary dochodzi do tworzenia się zespołów składających się z dziesiątek i setek molekuł. Jeżeli wymiary wytworzonego zespołu przewyższą pewną krytyczną wielkość, określoną stopniem przesylenia układu i naturą substancji, to wokół niego (zespołu molekuł) rozpoczyna się dalsza kondensacja molekuł pary i tworzy się mgła.

Istnienie wielkości krytycznej dla ośrodka kondensacji uwarunkowane jest tym, że prężność pary nasyconej zmienia się wraz ze zmianą krzywizny powierzchniowej.

Zagadnienie zależności prężności pary kropli cieczy od jej krzywizny opracował teoretycznie Thomson wyrażając to w swoim równaniu mającym

$$\ln \frac{p}{p_0} = \frac{2\delta M}{r\rho RT} \quad /4/$$

gdzie: p - prężność pary nad powierzchnią sferyczną;

¹¹ por. J.I. Wejcer, G.P. Łuczyński „Dymy maskujące” Wyd. MON, W-wa 1954 r.

- p_0 - prężność pary nad powierzchnią płaską;
 δ - napięcie powierzchniowe w dyn·cm⁻¹;
 M - ciężar molekularny,
 r - promień kropli (promień krzywizny powierzchni w cm);
 ρ - gęstość kropli w g · cm⁻³,
 R - stała gazowa w erg na stopień;
 T - temperatura bezwzględna w stopniach Kelwina

Znak + odnosi się do powierzchni wypukłej, znak - do powierzchni wklęsłej. W tabeli 6 przedstawiono zmianę prężności pary w zależności od promienia kropli.

Tablica 6

Zależność prężności pary od promienia kropli¹²

Promień kropli	Przyrost prężności pary w stosunku do płaskiej powierzchni w %
1 μ	0,1
10 m μ	10
1 m μ	100

Jak widać z danych zawartych w tablicy 6 bardzo ostry wzrost prężności pary występuje w obszarze koloidalnego stopnia rozdrobnienia. Doprowadza to do zjawiska przesylenia, gdyż para jest nasycona w stosunku do płaskiej powierzchni cieczy. Aby doszło do kondensacji cząstek w nieobecności cieczy, musi wystąpić bardzo silne przesylenie.

Podobne wzrastanie prężności pary, wraz ze zmniejszaniem się wymiarów cząstki, obserwuje się u stałych (krystalicznych) cząstek.

Jeżeli prężność pary, odpowiadająca według wzoru Thomsona wymiarom powstałego zespołu molekuł, przewyższa prężność przesyconej pary, to zespół molekuł nie stanie się ośrodkiem kondensacji i odparuje. Kondensacja będzie przebiegać tylko w tym przypadku, jeśli wymiar powstałego zespołu będzie dostatecznie duży, a odpowiadająca mu prężność pary będzie mniejsza od prężności pary przesyconej.

Stosunek prężności pary przesyconej do prężności pary nasyconej nazywa się *stopniem przesylenia*.

¹² por. A. BASIŃSKI „Zarys fizykochemii koloidów”, PWN, W-wa 1957 r.

Biorąc oznaczenia z równania Thomsona stopień przesylenia S wyrazić można następującym wzorem :

$$S = \frac{P}{P_0} \quad /5/$$

W procesie kondensacji pary stopień przesylenia zmniejsza się wskutek przejścia części substancji w stan ciekły. W określonym momencie następuje stan równowagi między parą a kropelkami mgły. Wytworzone w ten sposób cząstki nazywają się cząstkami pierwotnymi. Jednak przy ocenie własności otrzymanego aerozolu należy zwrócić uwagę na fakt, że kondensacji pary nasyconej, w mniejszym lub większym stopniu, towarzyszy koagulacja (łączenie się cząstek w skupiska) wytwarzających się cząstek. Oba te procesy, koagulacja i kondensacja, zachodzą jednocześnie w parze przesyconej i oba określają stopień rozproszenia aerozolu.

Wytwarzanie pary przesyconej może być dokonane drogą schładzania pary w całej objętości albo na powierzchni zetknięcia się z chłodnym ciałem. Jeżeli do schładzania pary zastosuje się ciała stałe lub ciekłe, to tworząca się przy zetknięciu z nimi para przesycona natychmiast, w znacznej swej objętości, skondensuje się na chłodnej powierzchni w postaci rosy lub szronu. Dlatego też parę przesyconą, potrzebną do wytworzenia dymu, należy otrzymywać ochładzając nagrzaną parę w drodze zetknięcia się jej z chłodnymi gazami.

Objętościowe ochładzanie pary osiąga się poprzez adiabatyczne rozprężanie. Polega to na rozprężaniu, które zachodzi bez dostępu energii cieplnej na zewnątrz, co z kolei osiąga się przez nagłe rozprężanie lub przez odizolowanie naczynia, w którym zachodzi rozprężanie. W przyrodzie zjawisko to obserwujemy przy podnoszeniu się wielkich mas powietrza.

Powierzchniowe ochładzanie zachodzi przy mieszaniu nagrzanej pary z chłodnym powietrzem lub innym gazem. W praktyce wytwarzania dymów maskujących powierzchniowe wytwarzanie par, niezbędne do wytworzenia dymów i mgieł, osiąga się poprzez sublimację.

Sublimacja jest to odparowanie substancji, a następnie wprowadzenie jej ciepłych par do chłodnego powietrza, po czym następuje kondensacja. Sublimację możemy wykonać następującymi sposobami :

1. Ogrzewać substancję w otwartym naczyniu do stanu wrzenia albo wylewać ją na

rozgrzane ciało; silnie rozgrzane pary substancji stykają się z chłodnym powietrzem kondensując w dym lub mgłę.

2. W przypadku kiedy temperatura wrzenia jest bardzo wysoka, dym lub mgłę otrzymuje się poprzez przepuszczenie strugi powietrza przez nagrzaną ciecz.
3. Stałe substancje sublimują pod działaniem mieszanki palnej. Substancje te miesza się z mieszkanką palną. Przy paleniu się tej ostatniej wywiązuje się ciepło, dzięki któremu substancja paruje, a pary przy zetknięciu z powietrzem dają dym.

W celu otrzymania dymów i mgieł za pomocą sublimacji mogą być używane tylko substancje chemiczne, trwałe w wysokich temperaturach. Substancje te powinny być także mało lotne, a ich temperatura wrzenia powinna mieścić się w granicach 150 - 500 ° C.

2.3.2. Kondensacja jako rezultat reakcji chemicznej

Kondensacja substancji zachodząca przy niektórych reakcjach chemicznych w środowisku gazowym jest, podobnie jak kondensacja przy ochładzaniu, bezpośrednim następstwem uprzedniego przesylenia powietrza parami substancji.

W praktyce wytworzenie pary przesyconej w reakcji chemicznej może zachodzić przy reagowaniu chemicznym dwóch komponentów, albo w rezultacie rozkładu jednej substancji.

Własności dymu otrzymanego przy kondensacji chemicznej zależą od szybkości reakcji chemicznej prowadzącej do wytworzenia ośrodków kondensacji, od szybkości ich wzrostu wskutek dyfuzji pary i od szybkości koagulacji.

Stężenie i stopień rozproszenia wytwarzającego się tą metodą dymu lub mgły zależy od stężenia reagujących gazów. Im bardziej rozcieńczone są powietrzem reagujące gazy, tym otrzymany dym jest bardziej rozproszony, ponieważ w rozcieńczonych układach koagulacja zachodzi wolniej i dalsza kondensacja na wytworzonych ośrodkach jest mało prawdopodobna. Charakter wytwarzającego się dymu zależy od tego, z jaką dokładnością i precyzją zostaną wymieszane wyjściowe komponenty przed rozpoczęciem reakcji.

W praktyce wytwarzania dymów i mgieł maskujących szeroko stosowane są reakcje chemiczne w środowisku gazowym. Najczęściej jako jeden z gazów reagujących wykorzystuje się części składowe atmosfery: parę wodną lub tlen. Istnieje dużo substancji, których pary mogą reagować z parami wody ulegając przy tym

uwodnieniu lub hydrolizie. Jeżeli produkty tych reakcji posiadają małą prężność pary, to przy wytwarzaniu ich w powietrzu przesycają one parami powietrze, w rezultacie czego zachodzi kondensacja na cząstki mgły lub dymu. To samo odnosi się do substancji zdolnych do reagowania z tlenem w fazie gazowej.

2.4. Metody kombinowane

Przy otrzymywaniu dymów i mgieł istnieje również możliwość jednoczesnego wykorzystania procesów kondensacji i rozpraszania. W pewnych przypadkach spotyka się mechaniczną kombinację tych dwóch sposobów wytwarzania dymów. Pewna ilość cząstek wytworzona zostaje na drodze rozpraszania a pozostała na drodze kondensacji. W innych przypadkach wytwarzania każdej cząstki dymy jest wynikiem jednocześnie zachodzących procesów kondensacji i rozpraszania.

2.4.1. Rozpylanie roztworów

Przykładem powiązania procesów rozpylania i kondensacji, przebiegających jednocześnie przy wytwarzaniu wszystkich cząstek, jest sposób wytwarzania dymów i mgieł przez rozpylanie niektórych substancji w lotnych rozpuszczalnikach.

Przy tym sposobie nie jest konieczne otrzymywanie od razu kropelek o wymiarach aerozoli. Otrzymane przez rozproszenie wielkie krople, dzięki odparowaniu lotnego rozpuszczalnika, zmieniają się w małe kropelki lub cząstki substancji rozproszonej, tworząc w większości przypadków trwałe dym. Rozpylając roztwory o małym stężeniu można ograniczyć się do zastosowania niewielkich ciśnień. Drugą zaletą tej metody jest możliwość otrzymania dymów o różnym stopniu dyspersji. Osiąga się to poprzez zmianę temperatury i ciśnienia, a głównie poprzez zmianę stężenie roztworu.

2.4.2. Wybuch

Przykładem mechanicznej kombinacji procesów rozpraszania i kondensacji jest wytwarzanie dymów za pomocą wybuchu. Przy wybuchu część substancji, przeznaczony na przetworzenie się w dym, silnie rozdrabnia się i rozprzestrzenia w otaczającej atmosferze. Za pomocą wybuchu przeprowadza się najdokładniejsze

rozproszenie substancji. Siła wybuchu powoduje rozrzucenie cząstek w różnych kierunkach i zapobiega łączeniu się tych cząstek.

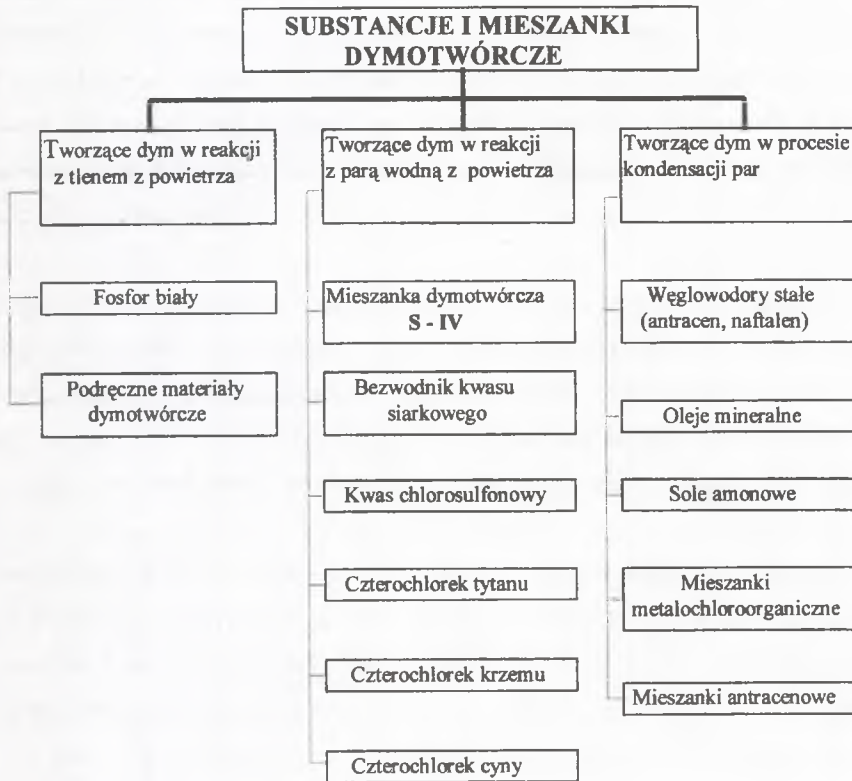
Przy tej metodzie ciało stałe lub ciekłe podlega działaniu fali uderzeniowej (gazowej) charakteryzującej się zwykle dużą prędkością. W rezultacie ciecz lub ciało stałe rozprasza się we wszystkich kierunkach, wytwarzając cząstki dymu lub mgły.

Druga część substancji przeznaczona na przetworzenie się w dym szybko odparowuje skutkiem ciepła jakie wydziela się w momencie wybuchu. W tym samym czasie wytworzone pary substancji mieszają się z powietrzem atmosferycznym i w rezultacie ochłodzenia przesycają zajętą przez siebie przestrzeń. Dalej zachodzi kondensacja par przesyconych z wytworzeniem dymu, przy czym cząstki otrzymane drogą rozproszenia, służą jako ośrodki kondensacji.

2.5. Klasyfikacja substancji i mieszanek dymotwórczych stosowanych w wojsku

Na podstawie ogólnej charakterystyki metod otrzymywania dymów i mgieł można przedstawić klasyfikację tych substancji pod względem sposobu ich przejścia w stan aerozolu. Klasyfikację substancji i mieszanin zdolnych do wytworzenia dymu przedstawia schemat 1.

Klasyfikacja substancji i mieszanek dymotwórczych pod względem sposobu ich przejścia w stan aerozolu¹³



Substancje dymotwórcze tworzące dym w reakcji z tlenem z powietrza

Wiele związków reaguje z tlenem z powietrza w ten sposób, że produkty ich spalania ulegają kondensacji w powietrzu i wytwarzają cząstki dymu lub mgły. Jednak

¹³ por.: Stosowanie środków dymnych w działaniach bojowych, Wyd. MON, W-wa 1980 r.

praktyczne zastosowanie do wytwarzania dymów znalazł tylko fosfor i podręczne materiały palne.

Fosfor w stanie wolnym występuje w kilku odmianach, z których najważniejsze są dwie: fosfor czerwony i biały. Jako substancję dymotwórczą wykorzystuje się tylko fosfor biały (odmiana ta jest silnie trująca). Fosfor biały w zetknięciu z powietrzem ulega zapłonowi tworząc przy tym duże ilości białego dymu. W procesie spalania fosfor najpierw łączy się z tlenem atmosferycznym dzięki czemu powstaje pięciotlenek fosforu, który następnie reaguje z parą wodną zawartą w powietrzu a wynikiem tej reakcji jest powstanie kwasu fosforowego. Kwas fosforowy, jako substancja silnie higroskopijna, przyląca określoną ilość pary wodnej i wytwarza gęstą mgłę składającą się z kropelek roztworu kwasu fosforowego. Mgła kwasu fosforowego nie ma właściwości toksycznych.

Podręczne materiały dymotwórcze. Do wytwarzania zasłon dymnych można również wykorzystywać następujące środki: gałęzie sosnowe, świeże liście brzozy lub olszyny, surowe drewno brzożowe i świerkowe, wilgotną słomę, siano, różne odpady przemysłowe (rozpuszczalniki, kauczuk, gumę, opony itp.).

Palące się gałęzie sosnowe dają dużo gęstego, białego dymu, dobrze utrzymującego się nad powierzchnią ziemi. Podobne właściwości dymu można osiągnąć spalając liście brzozy lub olszyny. Surowe drewno brzożowe lub świerkowe wydziela gęsty dym w stosunkowo długim okresie czasu. Wilgotna słoma i siano wytwarzają duże ilości gęstego dymu, lecz jest to proces krótkotrwały. Każdy z wymienionych środków może być użyty osobno, jednak lepsze efekty osiąga się poprzez stosowanie jednocześnie kilku rodzajów środków np. drewno razem ze słomą.

Substancje dymotwórcze tworzące dym w reakcji z parą wodną z powietrza

Do substancji dymotwórczych tej grupy należą: mieszanka dymotwórcza S – IV, bezwodnik kwasu siarkowego, kwas chlorosulfonowy, czterochlorek tytanu, krzemu, cyny i inne. Wymienione substancje są łatwo lotnymi cieczami (czterochlorek tytanu, kwas chlorosulfonowy) lub ciałami stałymi (bezwodnik kwasu siarkowego). Wszystkie są higroskopijne, reagują burzliwie z wodą i dymią w zetknięciu z powietrzem. Proces powstawania dymu przebiega samorzutnie. Niekiedy wpływa się na niego przez wprowadzenie do powietrza innych, przyspieszających reakcję składników (np. amoniaku), które reagują z substancją dymotwórczą bardziej skutecznie niż para wodna.

Mieszanka dymotwórcza S-IV jest roztworem bezwodnika kwasu siarkowego w kwasie chlorosulfonowym. Daje ona dym w wyniku reakcji z parą wodną zawartą w powietrzu, przy czym, w procesie wytwarzania dymu bierze głównie udział bezwodnik kwasu siarkowego. Wytworzony dym działa żrąco na tkaniny, skórę, drewno oraz powoduje korozję metali. Wdychanie dymu powoduje kaszel. Żołnierze mogą przebywać w dymie tylko w maskach przeciwgazowych.

Bezwodnik kwasu siarkowego (trójtlenek siarki) występuje w kilku odmianach. Jest to ciało stałe, krystalizujące w postaci długich, cienkich igieł, o temperaturze topnienia około 17°C i temperaturze wrzenia około 46°C, lotne w temperaturze pokojowej. Pary trójtlenku siarki szybko i łatwo reagują z parą wodną zawartą w powietrzu, wytwarzając kwas siarkowy. Efektywność wytwarzania dymu zależy od dokładności rozdrobnienia bezwodnika kwasu siarkowego, temperatury (intensywność parowania) i wilgotności względnej powietrza.

Kwas chlorosulfonowy jest bezbarwną cieczą o ostrym zapachu, stosunkowo ruchliwą i lotną, dymiącą na powietrzu, o temperaturze krzepnięcia -80°C i temperaturze wrzenia 152,7°C. Jest bardzo aktywny chemicznie, łatwo reaguje z wodą, wytwarzając kwas solny i siarkowy. W porównaniu z bezwodnikiem kwasu siarkowego, kwas chlorosulfonowy ma stosunkowo wysoką temperaturę wrzenia i znacznie mniejszą lotność.

Chlorki metali: tytanu, krzemu i cyny należą również do środków dymotwórczych, wytwarzających dym w wyniku reakcji z parą wodną zawartą w powietrzu. Są to lotne ciecze, zdolne do reakcji z wodą i parą wodną z powietrza. Dym chlorków metali nie drażni skóry, nie niszczy broni i umundurowania, jest nietoksyczny. Najlepsze właściwości maskujące ma czterochlorek tytanu, przewyższając nawet ciekłe mieszanki zawierające bezwodnik kwasu siarkowego. Jest on jednak stosunkowo drogi, co uniemożliwia jego masowe stosowanie.

Środki dymotwórcze tworzące dym w wyniku kondensacji i sublimacji

Grupa ta obejmuje takie substancje jak: sole amonowe, wyższe węglowodory, mieszanki metalochloroorganiczne i antraceny. Wymienione związki chemiczne nie rozkładają się pod wpływem wysokiej temperatury. Do atmosfery wprowadza się ich pary po silnym ogrzaniu, aby następnie po ochłodzeniu w wyniku zetknięcia z zimnym powietrzem otrzymać przesycenie par i kondensację.

Sole amonowe (chlorek amonowy, siarczan amonowy, azotan amonowy) stanowią składniki mieszanek używanych do napełniania świec i granatów dymnych. Poprzez ogrzanie soli amonowych następuje ich termiczny rozkład na dwa produkty gazowe, które następnie reagują ze sobą i tworzą z powrotem tę samą sól, lecz w postaci bardzo rozdrobnionej. Spośród soli amonowych najszerze zastosowanie znalazł chlorek amonowy. Jest to biała, krystaliczna substancja o gorzkawo - słonym smaku. Stanowi składnik antracenowych mieszanek dymotwórczych.

Węglowodory takie, jak olej solarowy, antracen i naftalen mogą stanowić składniki mieszanek dymotwórczych. Mogą być również stosowane samodzielnie w specjalnych instalacjach i przyrządach wytwarzających dym. Węglowodory są materiałami palnymi, ale w urządzeniach do wytwarzania dymu ulegają częściowemu spalaniu, w wyniku którego znaczna ich część odparowuje i wytwarza dym (mgłę).

Antracen jest stałą, krystaliczną substancją koloru żółtego. Otrzymuje się go w procesie suchej destylacji węgla kamiennego. Jest stosowany w świecach i granatach dymnych jako składnik mieszanek dymotwórczych. Spalając się częściowo powoduje wytworzenie wysokiej temperatury, niezbędnej do odparowania innych składników mieszanki dymotwórczej. W zetknięciu z chłodnym powietrzem kondensuje, wytwarzając gęsty dym.

Naftalen jest węglowodorem o właściwościach podobnych do antracenu. W wysokiej temperaturze łatwo sublimuje, natomiast przy dostępie powietrza pali się silnie kopącym płomieniem, wytwarzając szary dym. Jest stosowany jako składnik mieszanek dymotwórczych używanych w granatach i świecach dymnych.

Oleje mineralne są stosowane w generatorach dymu. Dym powstaje w wyniku odparowania tych substancji w strumieniu gorących gazów i kondensacji par w powietrzu. Dym jest nieszkodliwy dla człowieka i nie wykazuje szkodliwego działania na metale, tkaniny, drewno itp.

Mieszanki metalochloroorganiczne. W ich skład wchodzi metale albo ich tlenki, zdolne do wytworzenia lotnych chlorków i chlorowcopochodnych węglowodorów. Cząstki powstającego dymu są początkowo złożone z odpowiedniego chlorku, następnie po pochłonięciu wilgoci z powietrza z wodzianów chlorków albo roztworów wodnych tych wodzianów. Dzięki zjawisku pochłaniania wody z powietrza następuje zwiększenie stężenia dymu, co polepsza właściwości dymotwórcze. Dym mieszanek metalochloroorganicznych jest zwykle zabarwiony na kolor szary wskutek wydzielania się sadzy. Wadą tych mieszanin jest to, że dymieniu towarzyszy iskrzenie i niewielki

plomień, który demaskuje rubież zadymiania i może być przyczyną pożaru. Oprócz tego, jako produkt uboczny, w niewielkich ilościach wydziela się fosgen.

Mieszanki antracenowe składają się z substancji dymotwórczej, substancji palnej i utleniacza. Przeznaczone są do napełniania świec i granatów dymnych. Substancją dymotwórczą w mieszankach jest chlorek amonowy, substancją palną antracena a utleniaczem chloran potasowy. Mieszanki antracenowe można podzielić na podstawowe i inicjujące. Mieszanki inicjujące są wykorzystywane w świecach dymnych jako warstwa pośrednia przyspieszająca początkowe spalanie się mieszanki podstawowej. Mieszanki antracenowe są trwałe i bezpieczne w przechowywaniu. Napełnia się nimi granaty dymny oraz świece DM, BDSz i MDSz.

Podstawowe właściwości fizyczne i chemiczne substancji dymotwórczych przedstawiono w tab. 7.

Młasciwości fizykochemiczne substancji dymotwórczych

Substancja dymotwórcza	Wzór chemiczny	Temperatura topnienia [°C]	Temperatura wrzenia [°C]	Stan skupienia	Kolor	Gęstość w 20°C [g · cm ⁻³]	Rozpuszczalność
Fosfor biały	P	44,3	280,1	ciało stałe, woskowate	biały z żółtawym odcieniem	1,83	dobra w dwusiarczku węgla i ciekłych węglowo-dorach
Bezwodnik kwasu siarkowego	SO ₃	17	46	ciało stałe, krystaliczne	biały	1,91	bardzo dobra w wodzie
Mieszanka dymotwórcza S-IV	-	- 81	-	ciecz	od jasno żółtego do brunatnego	1,88-1,92	dobra w wodzie
Kwas chlorosulfonowy	HSO ₃ Cl	- 80	152,7	niechłiwa ciecz	bezbardwy	1,75	dobra w kwasie siarkowym i chlorku siarfuryli
Czterochlorek tytanu	TiCl ₄	- 23	135,8	ciecz	żółty	1,72	dobra w chloroformie, czterochlorku węgla i dwusiarczku węgla
Czterochlorek krzemu	SiCl ₄	- 68,7	57,2	ciecz	bezbardwy	1,48	jak wyżej
Czterochlorek cyny	SnCl ₄	- 33	114	ciecz	bezbardwy	2,22	jak wyżej
Antracen	C ₁₄ H ₁₀	216	342	ciało stałe	żółto-zielony	1,25	dobra w rozpuszczalnikach organicznych
Naftalen	C ₁₀ H ₈	80	217,9	ciało stałe	biały	1,16	jak wyżej
Oleje mineralne	-	-	Powyżej 300	ciecz	brunatny	0,89-0,92	dobra w rozpuszczalnikach organicznych
Chlorek amonowy	NH ₄ Cl	-	-	ciało stałe	biały	1,53	dobra w wodzie

Zródło: Stosowanie środków dymnych w działaniach bojowych, Wyd. MON, W-wa 1980 r.

Zagadnienia do dyskusji i samokontroli

1. Stężenia wagowe i cząstkowe
2. Sposoby otrzymywania dymów i mgieł:
 - dyspersja (dyspersja mechaniczna);
 - rozpylanie cieczy;
 - kondensacja (kondensacja przez schładzanie pary);
 - metody kombinowane;
 - rozpylanie roztworów;
 - wybuch.
3. Klasyfikacja substancji i mieszanek dymotwórczych (wojskowa)

Rozdział III

WŁAŚCIWOŚCI I PROCESY FIZYCZNO - CHEMICZNE ZACHODZĄCE W DYMACH I MGLACH

We wszystkich obłokach dymnych i mgłach zachodzą bez przerwy procesy zmieniające ich charakterystyczne cechy co w końcowym efekcie prowadzi do zmniejszenia obłoków, a tym samym do zniszczenia ich właściwości maskujących. Do najważniejszych, ze względu na czas utrzymywania się obłoku, procesów uwarunkowanych wewnętrznymi właściwościami obłoku dymnego zaliczyć należy :

- 1) odparowanie cząstek i przechodzenie obłoku dymnego w mieszaninę gazów;
- 2) osiadanie cząstek dymu pod działaniem siły ciężkości;
- 3) koagulację lub powiększanie się cząstek dymu.

3.1. Odparowanie cząstek dymnych

3.1.1. Równowaga faz między cząstkami a środowiskiem

Substancja składająca się z cząstek dymu i kropelek mgły, zawsze częściowo istnieje w stanie pary w ośrodku dyspersyjnym. Stężenie i odpowiadająca mu prężność par dla każdej temperatury mają ściśle określoną wielkość, o ile cząstki dymu znajdują się w równowadze ze środowiskiem dyspersyjnym. Jeżeli zmienia się temperatura, to prowadzi to do naruszenia równowagi i powoduje odparowanie cząstek lub kondensację par.

W maskujących obłokach dymnych, które składają się z wodnych roztworów kwasów i soli, stan równowagi określa się cząstkową prężnością pary wodnej nad tym roztworem i zawartością pary wodnej w atmosferze. Cząstki takiego obłoku dymnego

składają się z roztworów kwasów i soli o stężeniu, przy którym prężność pary wodnej nad nim jest równa prężności pary wodnej w atmosferze.

Przy zwiększaniu się objętości obłoku dymnego, który obserwuje się w warunkach bojowych (polowych), w miarę oddalania się od źródła dymu równowaga pomiędzy cząstkami dymu a środowiskiem dyspersyjnym zostaje naruszona; wzrasta ilość pary potrzebnej do zapełnienia środowiska dyspersyjnego, cząstki dymu odparowują i obłok dymu stopniowo przekształca się w jednolitą mieszaninę gazów.

Inaczej wpływa zwiększanie się objętości obłoku składającego się z cząstek wodnych, roztworów kwasów i soli na jego równowagę w środowisku dyspersyjnym. Stężenie pary wodnej w atmosferze otaczającej części mgły praktycznie można uważać za stałe. Stężenie pary wodnej wewnątrz obłoku dymu jest nawet trochę mniejsze w porównaniu z atmosferą czystą, ponieważ otrzymana mgła pochłania pewną ilość wilgoci i dlatego przy zwiększaniu się objętości obłoku dymnego nie zachodzi żadne parowanie. Przeciwnie, cząstki mgły, kiedy znajdują się w atmosferze zawierającej większą ilość pary wodnej, zaczynają pochłaniać wilgoć. Proces ten zachodzi do chwili, gdy prężność pary wodnej nad cząstkami składającymi się z bardziej rozcieńczonych roztworów nie wyrówna się i będzie odpowiadała wilgotności powietrza.

3.1.2. Destylacja izotermiczna

Pewne, chociaż niewielkie zmiany prężności pary, związane z różną krzywizną kropli, prowadzą do tego, że w polidyspersyjnym obłoku aerozolu nie wszystkie cząstki są w stanie równowagi ze środowiskiem dyspersyjnym. Prężność i stężenie pary nad kroplami o mniejszych wymiarach jest większa niż stężenie pary w środowisku dyspersyjnym, odpowiadające prężności pary nad średnimi i większymi cząstkami. Z drugiej strony prężność pary nad większymi cząstkami pozostaje zawsze wielkością stałą, równą średniemu ciśnieniu fazy rozproszonej, a szybkość kondensacji jest większa od szybkości parowania, dlatego większe cząstki będą coraz bardziej zwiększać swoje wymiary kosztem pary środowiska dyspersyjnego. Zmniejszanie się małych cząstek prowadzące do ich zanikania i wzrost wielkich cząstek, zachodzący w niejednorodnym aerozolu wskutek różnej prężności pary nosi nazwę *destylacji izotermicznej*.

3.1.3. Kinetyka parowania kropeł

Parowanie kropeł w spokojnej atmosferze zachodzi równomiernie ze wszystkich stron kropli. Szybkość parowania kropeł jest większa niż szybkość parowania z powierzchni płaskich. Zjawisko to można wyjaśnić w sposób następujący:

Proces parowania jest procesem złożonym z dwóch zasadniczych faz:

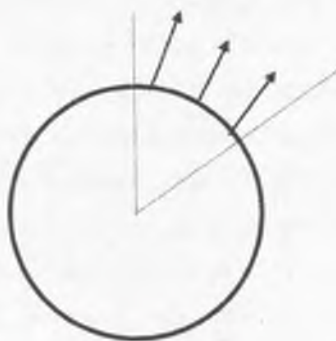
- 1) oderwania się molekuł od stałej lub ciekłej powierzchni i wytworzenie warstwy pary nasyconej;
- 2) dyfuzji molekuł z warstwy nasyconej.

Jeżeli dla dalszych warstw powietrza powierzchnia jest dostatecznie wielka i płaska, to wymiar wszystkich warstw powietrza przez które dyfunduje para jest jednakowy co przedstawiono na rys. 3.



Rys.3 Parowanie z powierzchni płaskiej

Na wypukłej powierzchni, w miarę oddalania się od cieczy, powierzchnia warstwy powietrza przez którą zachodzi dyfuzja stale się powiększa co ilustruje rys. 4.



Rys. 4 Parowanie z powierzchni wypukłej

Jak wynika z rys. 4, dyfundująca para rozprzestrzenia się w większej objętości, zwiększa się różnica pomiędzy warstwami i substancja odparowuje szybciej. Im większa krzywizna powierzchni i im mniejsze wymiary kropeł, tym gwałtowniej ujawnia się powiększanie objętości i tym szybciej zachodzi parowanie.

Maxwel opierając się na założeniach Stefana, twierdzącego, że na powierzchni kropli znajduje się warstwa pary nasyconej otrzymał następujące równanie dla szybkości parowania kropli w spokojnej atmosferze :

$$V = \frac{D}{r} (C_o - C) \quad /6/$$

gdzie: V - szybkość parowania w $g \cdot sek^{-1}$ z jednostki powierzchni kropli;

D - współczynnik dyfuzji w $cm^2 \cdot sek^{-1}$;

r - promień kropli w cm;

C_o - stężenie pary nasyconej substancji w $g \cdot cm^{-3}$;

C - stężenie pary w otaczającym środowisku w $g \cdot cm^{-3}$.

$C_o - C =$ niedobór pary

Dla powierzchni całej kropli szybkość parowania równa się iloczynowi V i powierzchni kropli mierzonej w cm^2 i wtedy

$$w = 4\pi Dr (C_o - C) \quad /7/$$

Według równania Maxwela czas całkowitego parowania kropli T jest wprost proporcjonalny do kwadratu początkowego promienia i odwrotnie proporcjonalny do niedoboru pary i wynosi :

$$T = \frac{r_o^2}{2D (C_o - C)} \quad /8/$$

W przypadku dymów maskujących, których faza rozproszona składa się z wodnych roztworów kwasów i soli, niedobór pary równy jest różnicy pomiędzy

stężeniami pary nasyconej nad roztworem o określonym składzie z wilgotnością absolutną powietrza.

3.2. Ruch cząstek dymu

Graham przypuszczał, że układy koloidalne nie wykazują zupełnie własności molekularno – kinetycznych. W istocie jednak okazało się, że układy koloidalne wykazują również powyższe własności, jednak w mniejszym stopniu niż roztwory rzeczywiste. Co więcej, nawet teoria molekularno – kinetyczna (teoria ruchu cząstek) znalazła najpierw potwierdzenie właśnie w badaniach układów koloidalnych, podczas obserwacji tak zwanych ruchów brownowskich cząstek zawieszonych, a następnie w badaniach nad równowagą sedymentacyjną.

3.2.1. Ruchy Browna

W 1827 roku angielski botanik Robert Brown¹⁴ zauważył, że bardzo małe cząstki mikroskopowe nie pozostają w bezruchu, a wykonują, bez przerwy ruchy oscylacyjne. Im mniejsza jest cząstka, tym większa jest amplituda drgań i tym bardziej ruch oscylacyjny przechodzi w ruch postępowy. Ruchy tego rodzaju zaobserwowano wkrótce w kropelkach emulsji mlecznej czyli w układach koloidalnych o dużym stopniu dyspersji.

Pierwszym, który zaobserwował ruchy Browna był polski naukowiec Łukasz Bodaszewski. Miało to miejsce w 1881 roku.

Ruchami Browna w przypadku cząstek dymu, nazywamy ruch jego cząstek (dymu), spowodowany nierównomiernymi uderzeniami molekuł gazu. Ruch ten odbywa się tym silniej, im mniejsze są wymiary cząstek dymu i im bardziej cząstki te zbliżone są swoimi wymiarami do samych molekuł. Widoczny ruch Browna obserwuje się u cząstek o wymiarach poniżej $3 \cdot 10^{-5}$ cm, natomiast cząstki powyżej $1 \cdot 10^{-4}$ cm nie biorą udziału w tym zjawisku.

Najbardziej charakterystyczną cechą ruchów Browna, w przypadku fazy rozproszonej, jest jej niezależność od przyczyn zewnętrznych. Omawiany zół przechowywać całymi latami, gotować, ziębić, nasświetlać światłem o różnych

¹⁴ por. A. Basiński, Zarys fizykochemii koloidów. PWN. W-wa 1957

długościach fal i o różnym natężeniu - żadna z tych czynności nie zmienia charakterystyki ruchów brownowskich pod warunkiem, że nie nastąpiła agregacja cząstek, prowadząca do zaniku układu koloidalnego.

Odwrotnie dzieje się w przypadku ośrodka dyspersyjnego gdzie intensywność ruchów Browna będzie wzrastać wraz z podwyższaniem temperatury, gdy szybszy jest ruch molekuł gazu, a także w rozrzedzonych gazach i w gazach o obniżonej lepkości i gęstości.

Einstein i Smoluchowski udowodnili, że istnieje pewna wielkość, dająca się łatwo zmierzyć, związana z kinetycznymi ruchami cząstek, a mianowicie średnie przesunięcie (przemieszczenie). Trudno jest badać całą drogę przebytą przez cząstkę, lecz nie ma trudności przy oznaczaniu przesunięcia cząstek w czasie „t”. Dlatego też średnim przesunięciem (przemieszczeniem) nazywa się odległość przesunięcia cząstki w linii prostej w określonym czasie. Średnie przesunięcie nie jest równe rzeczywistej drodze, którą przebywa cząstka w tym czasie. Droga ta może być bardzo złożona i zawiła. Dla cząstek o wielkościach równych dziesiątym częściom mikrona średnie przemieszczenie w czasie 1 sekundy wynosi od 2 do 7 mikronów. Wielkość średniego przemieszczenia jest wprost proporcjonalna do pierwiastka drugiego stopnia z czasu dla którego to przemieszczenie się określa i wyraża się wzorem:

$$\bar{x} \sim \sqrt{t} \quad /9/$$

3.2.2. Ruch cząstek dymu pod działaniem siły ciężkości

Cząstki dymu stale opadają pod działaniem siły ciężkości. Gdyby te same cząstki poruszały się w próżni, to opadanie odbywałoby się ze zmienną stale wzrastającą szybkością. Inaczej natomiast przebiega ten proces w środowisku gazowym. Ogólnie biorąc, gdy ciało opada w środowisku stawiającym opór, początkowy ruch ma charakter przyspieszony, lecz w związku z tym, że zwiększaniu szybkości ruchu towarzyszy zwiększenie oporu środowiska następuje moment, gdy ciało rozpoczyna opadanie ze stałą prędkością. Szybkość opadania cząstek dymu wzrasta wraz ze wzrostem ich wymiarów. Jednak zwiększenie szybkości nie jest wprost proporcjonalne do wzrostu cząstek i zachodzi wolniej. Jest to spowodowane znacznie większym oporem, jaki stawia powietrze wielkim, opadającym cząstkom.

Opór powietrza stawiany wielkim, opadającym cząstkom jest uwarunkowany bezwładnością (opadające cząstki jak gdyby roztrzucają molekuly powietrza) i tarcie przesuwającej się cząstki o molekuly powietrza.

Opór powietrza stawiany cząstkom dymów i mgieł, których wymiar znajduje się w granicach 10^{-2} ÷ 10^{-4} cm, uwarunkowany jest tylko tarcie.

Szybkość opadania tych cząstek jest proporcjonalna do kwadratu promienia cząstek i wyraża się równaniem Stokesa:

$$v = \frac{2 \rho g}{9 \eta} r^2 \quad /10/$$

gdzie:

- v - szybkość ruchu pod działaniem siły ciężkości w $\text{cm} \cdot \text{sek}^{-1}$;
- g - przyspieszenie siły ciężkości w $\text{cm} \cdot \text{sek}^{-2}$;
- ρ - gęstość cząsteczek w $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$;
- η - lepkość powietrza w puazach ($1 \text{ p} = 10^{-1} \text{ Pa} \cdot \text{s}$);
- r - promień cząsteczki w cm.

Dla cząstek mniejszych od 10^{-4} cm, czyli o wymiarze tego samego rzędu co średni, swobodny przebieg molekuł gazu, powietrze nie da się rozpatrywać jako ośrodek ciągły.

W takich warunkach cząstki przy osiadaniu nie zawsze napotyka na swojej drodze molekuly powietrza, w pewnych momentach osiadanie będzie się odbywać w próżni i wtedy opór powietrza stawiany poruszającym się cząstkom będzie mniejszy od tego jaki byłby przy uwzględnianiu tarcia całkowitego.

Przy wprowadzeniu poprawki, uwzględniającej przeskoczenie cząstek między molekułami powietrza szybkość opadania wyraża się równaniem Millikana i Webera:

$$v = \frac{2}{9} \frac{\rho g r^2}{\eta} \left[1 + \frac{1}{r} (A + B e^{-C/r}) \right] \quad /11/$$

gdzie :

- l - średni swobodny przebieg gazowych molekuł = $1 \cdot 10^{-3}$ cm;
- A, B, C - stałe równania, odpowiednio 0,864, 0,290, 1,25
- e - podstawa logarytmów naturalnych;
- v - szybkość ruchu pod działaniem siły ciężkości w $\text{cm} \cdot \text{sek}^{-1}$;
- g - przyspieszenie siły ciężkości w $\text{cm} \cdot \text{sek}^{-2}$;

ρ - gęstość cząsteczek w $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$;
 η - lepkość powietrza w puazach ($1\text{p} = 10^{-1}\text{Pa}\cdot\text{s}$);
 r - promień cząsteczki w cm.

Wszystkie cząstki odbiegające swym kształtem od kulistych (laseczki, pręciki itp.) opadając stawiają większy opór i osiadają z mniejszą prędkością niż kropelki sferyczne.

Z mniejszą szybkością opadają również zespoły cząstek dymu, co uwarunkowane jest, oprócz kształtu, pulchną strukturą zespołu i jego małą gęstością.

Skoro szybkość opadania cząstek aerozolu jest niejednakowa, to w niejednorodnym obłoku dymu przede wszystkim opadają największe cząstki, w rezultacie czego szybko zmniejsza się koncentracja wagowa. W silnie rozpromienionym obłoku dymu szybkość opadania jest niewielka. Prócz tego małe cząstki podlegają intensywnemu ruchowi Browna, który zapobiega opadaniu tych cząstek i nadaje im zygzakowatą drogę.

Dlatego stężenie silnie rozdrobnionych i rozcieńczonych aerozoli praktycznie pozostaje stałe i tylko w wyniku następującego później zwiększania cząstek rozpoczyna się intensywne parowanie.

Porównawcze dane szybkości opadania i ruchu Browna cząstek mgły wodnej, w zależności od ich wymiarów przedstawione zostały w tab. 8.

Tablica 8

*Szybkość opadania i ruch Browna cząstek mgły wodnej*¹⁵

Promień cząstek [cm]	Szybkość opadania [cm · s ⁻¹]	Średnie przemieszczenie [cm · s ⁻¹]
$5 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-1}$	$2,2 \cdot 10^{-8}$
$1 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$
$5 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$7,4 \cdot 10^{-4}$
$1 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$
$5 \cdot 10^{-6}$	$8,4 \cdot 10^{-5}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$

¹⁵ por.I.J. Wejcer, Łuczynski, Dymy maskujące, Wyd. MON W-wa 1954

3.3. Koagulacja

Każde powiększenie wymiaru cząstek ułatwia szybsze ich opadanie pod działaniem siły ciężkości. Jedną z głównych przyczyn zwiększania się wymiarów cząstek jest destylacja izotermiczna. Zasadniczo jednak zwiększanie się wymiarów cząstek zachodzi wskutek koagulacji.

Koagulacją nazywa się proces zmniejszania liczby cząstek fazy rozproszonej w jednostce objętości, albo inaczej mówiąc proces zmniejszania się stopnia dyspersji układu, polegający na łączeniu się cząstek pojedynczych na większe skupienia - agregacje¹⁶

Przy badaniu procesu koagulacji należy odróżniać:

- 1) przyczyny prowadzące do zderzania się cząstek dymu,
- 2) własności cząstek dymu pozwalające na zetknięcie lub przybliżenie się ich cząstek na odległość dostateczną do ujawnienia się siły spójności;
- 3) efektywność zderzania się lub inaczej mówiąc, procent cząstek łączących się w wyniku zderzenia.

W wysoce dyspersyjnych dymach i mgłach przyczyną koagulacji jest ruch Browna cząstek dymu. W rezultacie ruchu Browna cząstki aerozoli zderzają się ze sobą i tworzą przy tym zespoły cząstek dymu lub kropelki mgły. Im bardziej intensywny jest ruch Browna, im szybciej poruszają się cząstki dymu i im jest ich więcej (to znaczy im większe jest stężenie cząstkowe), tym szybciej zachodzi proces koagulacji.

Koagulacja dymów i mgieł jest ułatwiona dzięki nieobecności sił udaremniających cząstkom dymu zbliżanie się do siebie. Dzieje się tak dlatego, że w powietrzu znajduje się niewielka ilość jonów dzięki czemu w obłoku dymu nie ujawniają się siły wzajemnego odpychania się cząstek. Z tego powodu cząstki aerozoli bez przeszkód zbliżają się wzajemnie na odległość wystarczającą do ujawnienia się molekularnych sił spójności.

Koagulacja zachodzi najszybciej natychmiast po wytworzeniu dymu, kiedy w jednostce objętości zawarta jest wielka ilość intensywnie poruszających się i zderzających cząstek. W miarę zwiększania się wymiarów cząstek zaczynają one szybko opadać pod działaniem siły ciężkości, a ich ruch Browna staje się coraz

¹⁶ por. A. Basiński „Zarys fizykochemii koloidów” PWN, W-wa 1957.

wolniejszy. Ilość cząstek w jednostce objętości zmniejsza się, a średnia odległość między nimi zostaje zwiększona, zderzenia stają się coraz rzadsze, proces koagulacji ulega zahamowaniu. Zgodnie z tym szybkość koagulacji wyraża się wzorem:

$$-\frac{dn}{dt} = Kn^2 \quad /12/$$

gdzie : dn

-- - szybkość koagulacji

dt

n - ilość cząstek aerozolu w jednostce objętości (stężenia cząstkowe) w momencie koagulacji;

K - współczynnik (stała) szybkości koagulacji.

Z równania dla szybkości koagulacji drogą całkowania łatwo otrzymać ilość cząstek n_t pozostających w jednostce objętości obłoku dymnego, z początkowej ilości cząstek n_0 w określonym odstępie czasu:

$$\frac{1}{n_t} = \frac{1}{n_0} + Kt \quad /13/$$

oraz obliczyć czas T , w przeciągu którego ilość cząstek w obłoku dymnym zmniejsza się do połowy:

$$T = \frac{1}{n_0 K} \quad /14/$$

Współczynnik K występujący w równaniu dla szybkości koagulacji zależy z kolei od szybkości ruchów Browna, wymiary cząstek, stopnia jednorodności wymiarów, wielkości zasięgu działania molekularnych sił spójności i innych przyczyn.

Wartość współczynnika K wybranych substancji dymotwórczych zestawiono w tab.9.

Współczynnik szybkości koagulacji niektórych dymów i mgieł

Charakterystyka aerozolu		K [cm ³ · min ⁻¹]
nazwa substancji fazy rozproszonej	wagowe stężenia [mg · m ⁻³]	
kwasy stearynowy	13,5	0,31 · 10 ⁻⁷
Chlorek amonu	20,0	0,37 - 0,43 · 10 ⁻⁷
tlenek kadmu	50,0	0,51 - 0,53 · 10 ⁻⁷
tlenek żelaza	16,5	0,40 - 0,41 · 10 ⁻⁷
Dwumetyloaminobenzen	10,0	0,333 · 10 ⁻⁷
Aminoazobenzen	10,0	4,5 · 10 ⁻⁷

Źródło: I.J. Wejcer, A. Łuczyński, *Dymy maskujące*, Wyd. MON, W-wa 1954

Tablica 9 zawiera wyznaczone doświadczalnie wartości współczynnika szybkości koagulacji niektórych dymów i mgieł. Jak widać, współczynniki szybkości koagulacji dla dymów i mgieł w większości przypadków są zbliżone do siebie. Trochę wyższy jest współczynnik szybkości koagulacji cząstek o kształcie pręcików (np. tlenek kadmu), u których zasięg działania sił spójności jest większy niż u cząstek o kształcie kulistym.

Drugą bardzo ważną przyczyną koagulacji dymów w powietrzu jest mieszanie turbulentne.

Mieszanie turbulentne - to nieuporządkowany ruch dużych i małych objętości powietrza, powstały na skutek tarcia poruszającego się powietrza o powierzchnię ziemi i zachodzących w atmosferze procesów cieplnych.

Z powodu mieszania turbulentnego zachodzi zderzanie się cząstek dymu na zewnętrznej powierzchni przemieszczających się strug powietrza.

Współczynnik koagulacji wyraża się następującym wzorem :

$$K = \frac{8}{3} r^2 v \quad /15/$$

gdzie:

K - współczynnik koagulacji [cm³ · sek⁻¹];

r - promień cząstek [cm];

v - prędkość wiatru [m · sek⁻¹].

Współczynnik koagulacji i jej szybkość jest proporcjonalna do trzeciej potęgi promienia cząstki. Większe cząstki będą koagulować szybciej.

Zagadnienia do dyskusji i samokontroli

1. Równowaga faz między cząstkami a środowiskiem.
2. Destylacja izotermiczna.
3. Kinetyka parowania kropeł.
4. Ruchy Browna.
5. Wpływ siły ciężkości na ruch cząstek dymu.
6. Koagulacja i mieszanie turbulენტne.

Rozdział IV

WYMAGANIA STAWIANE ŚRODKOM DYMOTWÓRCZYM I DYMOM POD WZGLĘDEM WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNO - CHEMICZNYCH

4.1. Środki dymotwórcze – właściwości i wymagania

Środkami dymotwórczymi nazywa się pierwiastki lub związki chemiczne oraz mieszaniny, które po wprowadzeniu do atmosfery tworzą trwałe dym lub mgłę i które dzięki swym właściwościom mogą być stosowane na współczesnym teatrze działań bojowych.

Tylko niewielka grupa substancji o ściśle określonych właściwościach fizykochemicznych nadaje się do wytwarzania dymów lub mgieł. Substancje te powinny charakteryzować się następującymi (podstawowymi) właściwościami fizykochemicznymi:

- łatwo przechodzić w stan aerozolu;
- zapewniać trwałość zasłony dymnej;
- posiadać wybitną zdolność maskującą;
- posiadać wybitną zdolność dymotwórczą;
- dymy i mgły wytwarzane z tych substancji nie mogą być toksyczne;
- substancje te powinny być bezpieczne w użyciu oraz łatwe do przechowywania;
- niskie koszty produkcji.

Na szczególną uwagę zasługują tutaj zdolność maskująca i zdolność dymotwórcza, które świadczą o właściwościach fizykochemicznych danej substancji ale określają również jej możliwości dymotwórcze i maskujące.

Zdolność maskująca

Najważniejszą własnością, według której ocenia się środki dymotwórcze. Jako miarę zdolności maskującej środków dymotwórczych przyjmuje się współczynnik osłabienia światła obłoku dymnego, otrzymanego przez wprowadzenie 1g substancji dymotwórczej do 1 m³ powietrza.

W praktyce wojskowej operuje się pojęciem całkowitej zdolności maskującej (w Marynarce Wojennej używany jest termin: efekt maskujący) i pojęciem zdolności maskującej.

Przez całkowitą zdolność maskującą rozumie się współczynnik osłabienia światła obłoku dymnego otrzymanego przez wprowadzenie 1g środka dymotwórczego do 1m³ powietrza, pod warunkiem, że środek został wykorzystany w całości.

Wartość całkowitej zdolności maskującej (ZM_c) oblicza się dzieląc współczynnik osłabienia (K) przez stężenie środka dymotwórczego (g), przy czym należy zwrócić uwagę, że chodzi o stężenie środka dymotwórczego, użytego do otrzymania dymu, a nie o stężenie wagowe fazy rozproszonej aerozol. Jeżeli w objętości V [m³] powietrza znajduje się [g] gramów środka dymotwórczego o współczynniku wykorzystania K_w (liczba oderwana), to stężenie [q] wynosi :

$$q = \frac{g \cdot K_w}{V} \quad /16/$$

a stąd ZM_c mierzone w m² · g⁻¹ będzie równe:

$$ZM_c = \frac{K}{q} = \frac{K_v}{g \cdot K_w} \quad /17/$$

Całkowita zdolność maskująca dostatecznie ściśle charakteryzuje daną substancję dymotwórczą. Jednak w przeważającej większości przypadków środek dymotwórczy nie bywa wykorzystany w całości tzn. nie cała jego ilość tworzy fazę rozproszoną. Dlatego też do obliczeń praktycznych wygodniej jest korzystać z pojęcia „zdolności maskującej”, która odnosi się do określonego sposobu zastosowania środka dymotwórczego, do określonej aparatury itp.

W związku z powyższym przez *zdolność maskującą* należy rozumieć współczynnik osłabienia światła obłoku dymnego, otrzymanego przez wprowadzenie 1g substancji dymotwórczej do 1m³ powietrza, w tym przypadku, gdy środek dymotwórczy nie zostaje wykorzystany w całości.

Zdolność maskująca jest równa iloczynowi całkowitej zdolności maskującej (środek dymotwórczy zostaje wykorzystany w całości) przez współczynnik wykorzystania :

$$ZM = ZM_c \cdot K_w \quad /18/$$

Posługując się równaniami teorii widoczności i znając całkowitą zdolność maskującą można obliczyć, jakie stężenie środka dymotwórczego niezbędne jest do osiągnięciażądanego zasięgu widoczności. Stąd też otrzymujemy równanie :

$$\frac{g}{v} = \frac{q}{K_w} = \frac{1}{S} \cdot \frac{4,4}{ZM_c \cdot K_w} \quad /19/$$

gdzie : 4,4 - iloczyn zasięgu widoczności S i współczynnika K dla ciała czarnego.

Z przedstawionego powyżej wzoru wynika, że stężenie środka dymotwórczego jest odwrotnie proporcjonalne do zasięgu widoczności. Wielkość $4,4 \cdot /ZM_c K_w/^{-1}$ jest, w danych warunkach obserwacji i dla określonego sposobu zastosowania środka dymotwórczego, wartością stałą i nosi ona nazwę ciężaru maskującego (CM) .

Ciężar maskujący jest to ilość środka dymotwórczego przypadająca na jednostkę powierzchni, dostateczna dla osiągnięcia całkowitego przesłonięcia ciała czarnego.

Zdolność dymotwórcza

Zdolnością dymotwórczą nazywa się wielkość, która wskazuje, jaka masa fazy rozproszonej (dymu) powstaje z jednostki masy środka dymotwórczego.

Zdolność dymotwórczą można przedstawić za pomocą wzoru:

$$D = \frac{c}{g} \quad /20/$$

gdzie:

- D - zdolność dymotwórcza;
 c - ilość otrzymanej fazy rozproszonej;
 g - ilość zużytego środka.

Im większa jest zdolność dymotwórcza, tym więcej powstaje dymu i tym wyższa jest zdolność maskująca substancji. Zdolność dymotwórcza zależy od współczynnika wykorzystania środka dymotwórczego, tzn. od tej jego ilości, która utworzyła fazę rozproszoną, oraz od wtórnych procesów zachodzących w atmosferze, w których bierze udział tlen; wilgoć atmosferyczna. Zdolność dymotwórczą określa się w komorze dymnej. W tym celu należy przeprowadzić odważkę środka dymotwórczego w stan dymu. Następnie określa się stężenie wagowe.

Substancje, które reagują z tlenem lub wilgocią, posiadają zdolność dymotwórczą większą od jedności. Substancje tworzące dym w wyniku sublimacji posiadają zwykle zdolność dymotwórczą mniejszą od jedności.

Właściwości maskujące niektórych substancji i mieszanek dymotwórczych przy średniej wilgotności powietrza ilustruje tab. 9, natomiast ich właściwości fizyczno – chemiczne tab. 10.

Tablica 9

Właściwości maskujące wybranych substancji i mieszanek dymotwórczych.¹⁷

Substancja (mieszanka) dymotwórcza	Zdolność dymotwórcza	Zdolność maskująca [m ² ·g ⁻¹]	Masa maskująca [g·m ⁻²]
fosfor biały	6,32	13,6	0,34
bezwodnik kwasu siarkowego	5,0	12,6	0,35
kwas chlorosulfonowy	niewielka	1,4	3,15
czterochlorek tytanu	2,0	6,0	0,73
czterochlorek krzemu i cymy	niewielka	niewielka	-
mieszanka antracenowa	1,0	1,9	2,3
mieszanka metalochloroorganiczna	1,0	2,0	2,2

¹⁷ Por. „Stosowanie środków dymnych w działaniach bojowych” Szef. Wojsk OPChem 1980

Właściwości fizykochemiczne wybranych substancji dymotwórczych

Substancja (mieszanka) dymotwórcza	Wzór chemiczny	Temperatura topnienia [°C]	Temperatura wrzenia [°C]	Stan skupienia	Kolor	Gęstość w temp. 20°C [g · cm ⁻³]	Rozpuszczalność
fosfor biały	P	44,3	280,1	ciało stałe, woskowate	biały z żółtym odcieniem	1,83	dobra w dwusiarczku węgla i ciężkich węglowodorach
bezwodnik kwasu siarkowego	SO ₂	17	46	ciało stałe, kryształiczne	biały	1,91	bardzo dobra w wodzie
kwas chlorosulfonowy	HSO ₃ Cl	- 80	152,7	ruchliwa ciecz	bezbarwny	1,75	dobra w kwasie siarkowym i chloroku siarkowiu
mieszanka dymotwórcza S-IV	-	- 81	-	ciecz	od jasno żółtego do brunatnego	1,88 - 1,92	dobra w wodzie
czterochlorek tytanu	TiCl ₄	- 23	135,8	ciecz	żółty	1,72	dobra w chloroformie i czterochlorku węgla
czterochlorek krzemu	SiCl ₄	- 68,7	57,2	ciecz	bezbarwny	1,48	jak wyżej
czterochlorek cyny	SnCl ₄	- 33	114	ciecz	bezbarwny	2,22	jak wyżej
antracen	C ₁₄ H ₁₀	216	342	ciało stałe	żółto - zielony	1,25	dobra w rozp. organicznych
naftalen	C ₁₀ H ₈	80	217,9	ciało stałe	biały	1,16	jak wyżej
oleje mineralne	-	-	powyżej 300	ciecz	brunatny	0,89 - 0,92	jak wyżej
chlorek amonowy	NH ₄ Cl	-	-	ciało stałe	biały	1,53	dobra w wodzie

Zródło: Stosowanie środków dymnych w działaniach bojowych, Szef Wojsk OPChem 1980

4.2 Własności maskujące dymów

Głównym i zasadniczym celem stosowania substancji dymotwórczych jest stworzenie warunków pogarszających widoczność i wyrazistość obserwacji.

Widoczność i wyrazistość obserwacji wzrokowej uwarunkowane są kontrastem w blasku (jasności) oraz barwą rozpatrywanego przedmiotu i otaczającego ten przedmiot tła (np. terenu). Jeżeli pomiędzy obserwatorem a przedmiotem znajduje się obłok dymny, to z powodu optycznej niejednorodności dymów oraz zjawisk optycznych zachodzących na granicy cząstek dymu i powietrza występuje zmniejszenie kontrastu w blasku oraz barwie przedmiotu i tła, w wyniku czego pogarsza się wyrazistość obserwacji wzrokowej.

Zasadnicze zjawiska optyczne zachodzące w dymach i mgłach sprowadzają się do rozpraszania i pochłaniania światła wewnątrz obłoku dymu i na jego granicy z czystym powietrzem.

4.2.1 Rozpraszanie światła

Rozpraszanie światła - jest to odchylenie w różne kierunki przez cząstki dymu promieni światła, które przechodzą przez obłok dymny.

Przyczyną rozproszenia światła jest optyczna niejednorodność obłoku dymnego, to znaczy różnica w optycznych właściwościach samych cząstek dymu i otaczającego je powietrza. Główną rolę odgrywa przy tym *współczynnik załamania światła*, który wskazuje o ile zmniejsza się szybkość rozchodzenia się światła w danym ośrodku.

Przechodząc z jednego środowiska do drugiego, światło dzięki zmianie prędkości rozchodzenia się, zmienia kierunek swojego ruchu. Im większa jest różnica pomiędzy współczynnikiem załamania a znajdującymi się w nim cząstkami dymu, tym wyraźniej zmienia się kierunek i tym silniejsze staje się rozpraszanie energii promienistej.

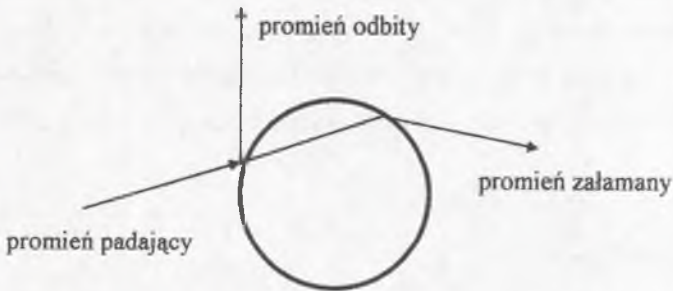
Jeżeli współczynnik załamania środowiska dyspersyjnego oraz cząstek fazy dyspersyjnej jest jednakowy, to promienie światła przechodzą przez taki układ nie zmieniając swego kierunku i nie ulegając rozproszeniu.

Optyczna niejednorodność dymów i mgieł jest przyczyną zjawisk fizycznych, wywołujących bezpośrednio rozpraszanie energii promienistej.

W zależności od stosunku między wymiarami cząstek dymu a długością fali przechodzącego światła przeważa takie lub inne zjawisko. W przypadku, gdy wymiary

cząstek dymu są większe od długości fali światła, na granicy cząstek dymu zachodzi odbijanie i załamywanie światła.

Przy nieprzezroczystych cząstkach dymu rozpraszanie światła zachodzi bezpośrednio przez odbicie. Przy cząstkach przezroczystych przyczyną rozproszenia jest wielokrotne odbicie i załamanie światła na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni cząstek. Schemat takiego rozpraszania na powierzchni kulistych, przezroczystych kropelek mgły wodnej przedstawia rys. 5.

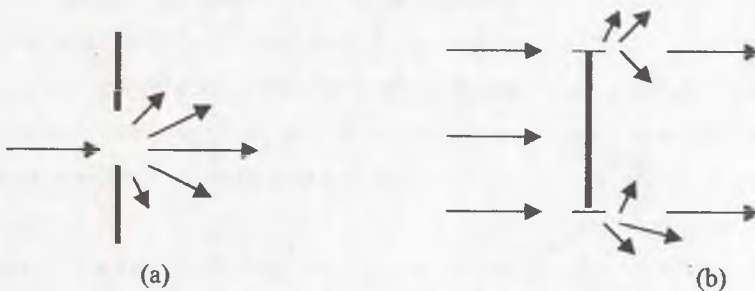


Rys.5. Schemat odbicia i załamania światła na kropelkach mgły.

Jeżeli wymiary cząstek dymu są tego samego rzędu co długość fali światła, to przyczyną rozproszenia jest dyfrakcja światła.

Dyfrakcja światła polega na tym, że promienie światła uginają się na cząstkach dymu, znajdujących się na ich drodze.

Schemat dyfrakcji przedstawiono na rys. 6.

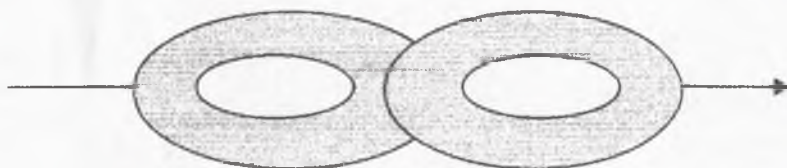


Rys. 6 Schemat dyfrakcji: (a) – dyfrakcja przy szczelinie, (b) – dyfrakcja przy płycie.

Bez względu na fizyczne przyczyny rozproszenie światła zachodzić będzie zawsze we wszystkich możliwych kierunkach w stosunku do pierwotnie przechodzących promieni.

Wokół cząstki stanowiącej przyczynę rozpraszania energii promienistej światło rozproszone tworzy świecące pole.

Natężenie światła obrazuje powierzchnia sferyczna *indicatrix* (tak zwana indyktrysa – figura geometryczna, zwykle w kształcie elipsoidy...*Słownik wyrazów obcych, PWN 1991*) – jest to długość wektora wyrażona w umownych jednostkach natężenia pola w określonym kierunku. Ponieważ rozproszenie światła jest zwykle symetryczne w stosunku do kierunku przechodzących promieni, wystarczy mieć opis indyktrysy w jakiegokolwiek płaszczyźnie przeprowadzonej przez cząstkę i pierwotny promień. Na rys.7 przedstawiono indyktryse dla bardzo małej przezroczystej cząstki.



Rys. 7 Koło zupełnie małej cząstki (wypełnienie – pole spolaryzowanego światła).

Światło rozproszone w mniejszym lub większym stopniu będzie zawsze spolaryzowane. *Światło spolaryzowane jest to światło w którym falowe drganie energii zachodzi w sposób określony.*

W świetle naturalnym istnieją promienie, których ruch drgający odbywa się w różnych kierunkach. W wyniku rozproszenia zachodzi jakby uporządkowanie promieniowania. Promienie, w których drgania zachodzą w jednej płaszczyźnie, wydzielają się jakby z ogólnego strumienia światła i skierowują się w określonym kierunku. Zawartość ilościowa spolaryzowanych promieni w ogólnym strumieniu światła nazywa się *stopniem polaryzacji*.

Podstawowe prawidłowości charakteryzujące zależność pomiędzy natężeniem rozproszenia światła, długością fali światła i wymiarami cząstek aerozolu bardzo łatwo można prześledzić posługując się obliczeniami dokonanyymi przez Stratona i Howtona, dla mgły wodnej. Według Stratona i Howtona natężenie rozproszenia światła R określa się trzema wielkościami:

1. mocą pierwotnego strumienia światła I ;
2. sumarycznym przekrojem cząstek aerozolu na które pada światło $\Pi r^2 N$;

3. współczynnikiem K charakteryzującym samorozproszenie, zależnym z kolei od stosunku wymiarów cząstek do długości fali i od współczynnika załamania cząstek dymu.

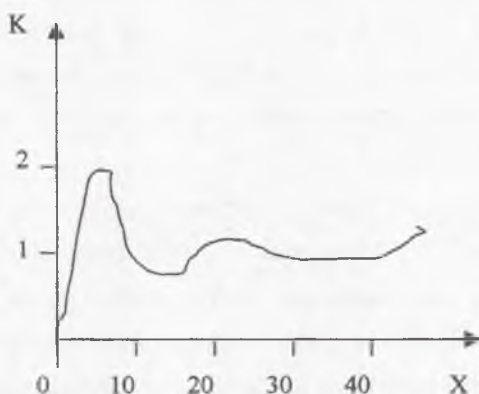
Ostateczny wzór na natężenie rozproszenia światła według Stratona i Howtona przedstawia się następująco:

$$R = IKN\pi r^2 \quad / 21/$$

Wyliczone przez Stratona i Howtona wielkości K w zależności od stosunku:

$$X = \frac{2\pi r}{\lambda} \quad / 22/$$

przedstawione zostały na rys. 8.



Rys. 8 Krzywa Strotona-Howtona

Ze wzoru na natężenie rozpraszania światła wynika, że jeżeli ilość cząstek w obłoku dymnym pozostaje stała, a ich wymiar zwiększa się, to natężenie rozproszenia światła zawsze wzrasta. Zwiększanie natężenia rozproszenia światła najenergetyczniej zachodzi w wysoko rozproszonych dymach, gdzie znaczenie ma nie tylko rozpraszająca powierzchnia, lecz również objętość substancji. Zwiększanie natężenia rozpraszania światła zachodzi najstąbiej

w mało rozproszonych dymach, gdzie rozproszenie jest proporcjonalne tylko do powierzchni cząstek aerozoli. Zgodnie z tym w wysoce rozproszonych dymach natężenie rozpraszania światła będzie proporcjonalne do wymiarów cząstek w szóstej potędze, a w przypadku większych cząstek rozproszenie będzie proporcjonalne do wymiarów cząstek w drugiej potędze. W przypadku cząstek tego samego rzędu co długość fali światła znajduje się wartość pośrednią.

Dużych kłopotów przysparza ustalenie zależności pomiędzy ilością rozproszonego światła a wymiarami cząstek aerozolu przy stałym stężeniu wagowym. Zwiększenie wymiarów cząstek, przy zachowaniu stałego stężenia wagowego, prowadzi do zmniejszenia ich liczby i do zredukowania ogólnej powierzchni rozpraszającej. W słabo rozdrobnionych układach, gdzie największe znaczenie ma wielkość powierzchni rozpraszającej, natężenie rozproszenia światła zmniejsza się wraz z powiększeniem się wymiarów cząstek.

W wysoko rozproszonych układach, gdzie decyduje masa rozpraszająca, zachodzi zjawisko odwrotne – ilość rozproszonego światła wzrasta wraz ze zwiększeniem się wymiarów cząstek. W dymach o średnim stopniu dyspersji, gdzie przyczyną rozpraszania światła jest dyfrakcja, duże znaczenie mają obydwie wymienione wielkości. Równocześnie przy dyfrakcji zachodzi największe rozproszenie światła, dochodzące do swego maksimum przy pewnym, średnim zakresie wielkości cząstek (rzędu $2 \cdot 10^{-5}$ cm). Cząstki o takich wymiarach tworzą dym maskujący.

Wielkie cząstki rozpraszają wszystkie promienie widma jednakowo. Przykładem takich układów aerozoli są zwykłe obłoki. W wysoko rozproszonych układach rozproszenie światła jest odwrotnie proporcjonalne do długości fali w czwartej potędze. Najsilniej ulegają rozproszeniu promienie krótkie (niebieskie, fioletowe). Promienie czerwone jako dłuższe, ulegają słabszemu rozproszeniu co w dalszej konsekwencji powoduje, że wszystkie wysoko dyspersyjne dymy mają zabarwienie błękitne przy obserwacji w bocznym rozproszonym świetle a przy obserwacji w świetle przechodzącym – czerwone. Przykładem takich układów jest powietrze atmosferyczne (błękitna barwa nieba i czerwona barwa zachodzącego słońca).

Cząstki tej samej wielkości co długość fali światła zwykle lepiej rozpraszają takie światło o krótkich falach z tym, że różnica w rozpraszaniu światła o różnych długościach fali jest tutaj mniej widoczna a rozproszenie światła jest odwrotnie proporcjonalne do długości fali w trzeciej, drugiej lub pierwszej potędze.

W niektórych przypadkach przy cząstkach tego samego rzędu co długość fali światła obserwujemy odwrotną zależność, to znaczy lepsze rozproszenie w mgłach promieni czerwonych niż w fioletowych.

4.2.2 Pochłanianie światła

Pochłanianie (*absorpcja*) światła jest to przemiana energii promienistej padającej na powierzchnię cząstek dymu na energię chemiczną lub ciepłą. Absorpcja światła jest zjawiskiem indywidualnym i selektywnym zarazem. Indywidualnym jest dlatego, że zależy od indywidualnych chemicznych właściwości danego ciała, selektywnym natomiast dlatego, że każde ciało absorbuje tylko określoną część widma, to znaczy określone długości fali.

W niektórych przypadkach spotyka się absorpcję energii promienistej w szerokim obszarze widma. Przy takim pochłanianiu światła obłok dymny ma zabarwienie czarne. Przy selektywnej absorpcji obłok posiada barwę dopełniającą do barwy zaabsorbowanej (barwy dopełniające to takie, które w sumie dają barwę białą). Na uwagę zasługuje fakt, że w wysoko dyspersyjnych dymach i mgłach, które intensywniej rozpraszają krótkofalową część widma (część fioletowa) barwę obłoku określa się równoczesnym działaniem absorpcji i nierównomiernym rozpraszaniem światła. Zestawienie ogólnych strat energii przypadających na absorpcję ilustruje tab. 12.

Tablica 12

Część promieniowania przypadająca na absorpcję przy ogólnym osłabieniu światła.

Nazwa dymu	Część światła zaabsorbowanego [%]
- mgła kwasu fosforowego	10
- mgła kwasu siarkowego	30
- dym chlorohydratów tytanu	32
- dym mieszanek neutralnych świec DM-11	24
- dym mieszanek neutralnych granatów dymnych	51
- czarny dym otrzymywany przy spalaniu terpertyny	82

Zródło: Wejcer, Łuczyński „Dymy maskujące” Wyd. MON W-wa 1954

Ilość zaabsorbowanego światła zależy od wymiarów cząstek dymów, od długości fali światła oraz współczynników załamania fazy rozproszonej i środowiska rozpraszającego. Dla każdego obszaru widma absorbowana energia osiąga maksimum przy określonym wymiarze cząstek dymu.

4.2.3. Współczynnik osłabienia światła. Prawo Lamberta.

Rozpraszanie i pochłanianie energii promienistej powoduje stopniowe zmniejszanie się natężenia światła przechodzącego przez dym lub mgłę. Zależność pomiędzy zdolnością absorpcyjną danego ciała, grubością warstwy absorbującej i natężeniem światła padającego i przepuszczonego ustala prawo Lamberta. Według tego prawa każda następna, nieskończenie mała warstwa dymu (jak i w ogóle koloidu) będzie zawsze rozpraszać i pochłaniać określoną część energii, dopływającej z poprzedniej warstwy dymu. We wzorze całkowitym zależność ta została wyrażona następującym równaniem:

$$I = I_0 e^{-kd} \quad / 23/$$

gdzie:

- I – natężenie światła wychodzącego z warstwy dymu;
- I_0 – natężenie światła wchodzącego (padającego) w obłok dymu;
- K – współczynnik osłabienia światła (mierzony odwrotnością jednostki długości)
- d – grubość warstwy dymu przez którą przechodzi promień światła;
- e – podstawa logarytmów naturalnych.

Powyższe równanie ma oczywiście tylko wtedy jednoznaczny sens, gdy odnosi się do promieni o określonej długości fali. Zostało ono wyprowadzone w oparciu o założenie, że wszystkie warstwy na które możemy umownie podzielić ośrodek, pochłaniają światło jednakowo, to jest każda następna warstwa absorbuje tyle światła co warstwa poprzednia.

Bardzo ważną wielkością charakteryzującą optyczne właściwości układu aerozoli jest współczynnik osłabienia światła. Współczynnik osłabienia światła jest równy części energii rozproszonej i pochłanianej na drodze równej jednostce długości, przy przeliczeniu na nieskończenie cienką warstwę.

Współczynnik osłabienia światła K jest równy sumie współczynników rozpraszania światła α i pochłaniania β

$$K = \alpha + \beta \quad / 24/$$

Współczynnik osłabienia światła wyraża się zwykle odwrotnością jednostki długości (1m^{-1} albo 1cm^{-1}). Taki wymiar współczynnika osłabienia światła otrzymuje się z jego określenia podanego wyżej.

Współczynnik osłabienia światła określa się zwykle przez pomiar dokonywany na wąskiej równoległej wiązce promieni świetlnych, gdyż tylko ta wielkość posiada określone fizyczne znaczenie i może być wykorzystywana później w teorii dymów maskujących. Przy każdym innym oświetleniu otrzymuje się mniejsze wielkości współczynnika osłabienia.

Zależność współczynnika osłabienia światła od wymiarów cząstek dymu, długości fali światła i optycznych właściwości fazy dyspersyjnej określa się sumarycznym działaniem procesów pochłaniania i rozpraszania światła.

Absolutna wielkość współczynnika osłabienia światła dla dymów maskujących leży w granicach $0,4 \div 0,04 \text{ m}^{-1}$ i w tych granicach współczynnik osłabienia światła jest wprost proporcjonalny do stężenia wagowego (prawo Beera).

$$K = Q \cdot c \quad / 25/$$

gdzie:

- Q – współczynnik osłabienia światła odpowiadający jednostce wagowej dymu;
- c – stężenie wagowe dymu w $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ lub w $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$

Analogicznie do pochłaniania i rozpraszania osłabienie światła osiąga maksymalną wielkość przy niektórych średnich wymiarach cząstek dymu. Naturalnie, że dla celów wytwarzania dymów maskujących ważną rzeczą jest przede wszystkim określenie maksymalnego osłabienia dla jego stałego stężenia wagowego.

Wielkość współczynnika osłabienia światła na różnych odcinkach widma widzialnego i podczerwonego, dla różnych dymów maskujących znacznie się zmienia.

4.1.4. Rozproszenie wielokrotne

Energia promienista, rozpraszana przez cząstki dymu, padając na inne cząstki dymu ulega wtórnemu rozproszeniu. Jeżeli stężenie wagowe obłoku dymnego jest dostatecznie duże to energia promienista rozprasza się wielokrotnie.

Ogólnie zjawisko to nosi nazwę rozproszenia wielokrotnego. Wielokrotne rozproszenie znacznie wpływa na skład widma rozproszonych promieni i stopień ich polaryzacji. Na skutek drugiego, trzeciego i kolejnych rozproszeń, zarówno przechodzące jak i rozproszone promienie stają się płowe i depolaryzują się. Dlatego też w wysoko rozproszonych dymach prowadzi to do zanikania zabarwienia i zmniejszania stopnia polaryzacji.

Pod wpływem zjawiska wielokrotnego rozproszenia światła prawo Lamberta zostaje zachowane tylko dla małych objętości lub dla rozrzedzonych obłoków. Na dużych odległościach lub w gęstych obłokach, do prostych promieni, które nie uległy rozproszeniu, dołącza się światło wielokrotnie rozproszone z sąsiednich obszarów aerozolu i obserwowana wielkość współczynnika osłabienia zmniejsza się.

Zagadnienia do dyskusji i samokontroli

1. Definicja środków dymotwórczych.
2. Zdolność dymotwórcza i maskująca.
3. Rozpraszanie światła.
4. Pochłanianie światła.
5. Prawo Lamberta.

Rozdział V

PODSTAWOWE WŁASNOŚCI MASKUJĄCE DYMÓW I MGIEŁ

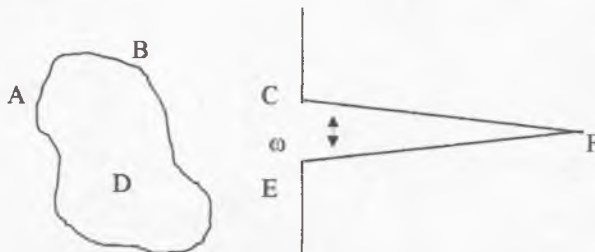
Proces maskowania wbrew panującym opiniom jest procesem wysoce złożonym, na który oprócz właściwości fizykochemicznych środków dymotwórczych oraz czynników meteorologicznych duży wpływ wywierają również czynniki obiektywne (z punktu widzenia dymu) takie jak fizjologia wzroku człowieka czy teoria zasięgu widoczności.

5.1. Podstawowe dane z fizjologii wzroku człowieka

Dla pełniejszego zrozumienia istoty maskującego działania dymów i mgieł niezbędne jest krótkie przypomnienie niektórych zagadnień z fizjologii wzroku człowieka.

Jest rzeczą powszechnie wiadomą, że oko ludzkie rozróżnia kształty przedmiotu, jego blask lub też inaczej mówiąc jasność oraz barwę.

Blaskiem lub *jasnością* nazywamy wielkość charakteryzującą promieniowanie świecącej powierzchni w pewnym założonym kierunku. Pełniejszy obraz podanej powyżej definicji obrazuje rys. 9.



Rys. 9 Schemat współzależności między obserwowaną jasnością promieniowania i ilością padającego światła.

Na przedstawionym rys. 9, obiekt A, B i D to jakiegokolwiek ciało świecące, C i E – otwór wycięty w czarnej płycie, F – punkt w którym mierzy się jasność, ω – kąt bryłowy pomiędzy F i otworem C, E.

Ilość światła padającego na punkt F zależy od wymiaru powierzchni otworu C, E, kąta bryłowego ω oraz odległości pomiędzy punktem i powierzchnią otworu. Jednak we wszystkich przypadkach jasność świecącego ciała A, B, D pozostaje niezmienna i będzie równa energii padającej na punkt F, podzielonej przez wielkość kąta ω .

Oko ludzkie jest przystosowane do reagowania na jasność o niedużej wielkości absolutnej (wielkość rzędu kilku fotonów). Równocześnie oko wykrywa zmianę jasności tylko w tym przypadku, gdy zmiana ta nie jest mniejsza od określonej części wielkości początkowej (prawo Webera – Fechnera). Tę minimalną część nazywa się progiem kontrastowej czułości i oznacza się literą ε .

Próg kontrastowej czułości ε waha się w dość szerokich granicach ($0,5 \div 2\%$). Zależy on od wymiarów kątowych, kształtu przedmiotu oraz od indywidualnych cech każdego człowieka. Średnio próg kontrastowej czułości wynosi 1,25%. Oznacza to, że jeżeli pierwotna jasność wynosi 100 jednostek, obserwator zauważy zmianę jasności tylko w tym przypadku, jeżeli nowa jasność będzie różniła się od poprzedniej o co najmniej 1,25 jednostki.

Minimalna wartość progu kontrastowej czułości odpowiada niektórym średnim jasności. W zakresie małych i większych wartości jasności próg kontrastowej czułości ulega zwiększeniu. W zakresie małych jasności zwiększenie się progu kontrastowej czułości wyjaśnia się działaniem własnego światła jakie posiada siatkówka oka ludzkiego. Własne światło siatkówki oka powstaje w wyniku procesów chemicznych i cieplnych zachodzących w nim, nawet bez zewnętrznego podrażnienia światłem. Jeżeli chcemy uwzględnić własne światło siatkówki, wzór wyrażający prawo Webera – Fechnera:

$$\frac{\Delta I}{I} = \varepsilon \quad / 26/$$

należy zastąpić wzorem:

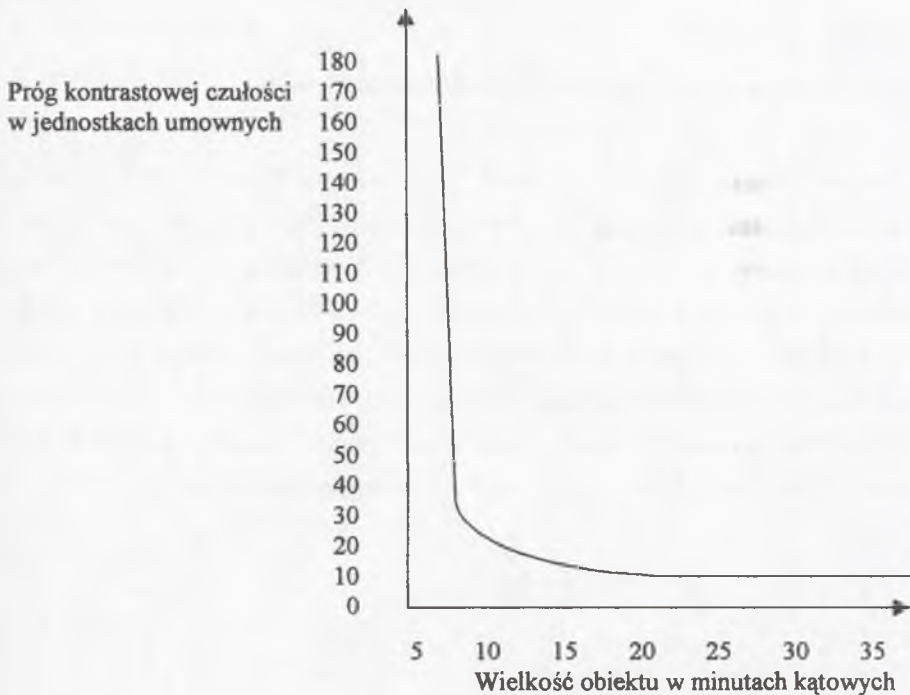
$$\frac{\Delta I}{I + d} = \varepsilon \quad / 27/$$

gdzie:

- ΔI – przyrost jasności;
- I - pierwotna jasność,
- d - własne światło siatkówki.

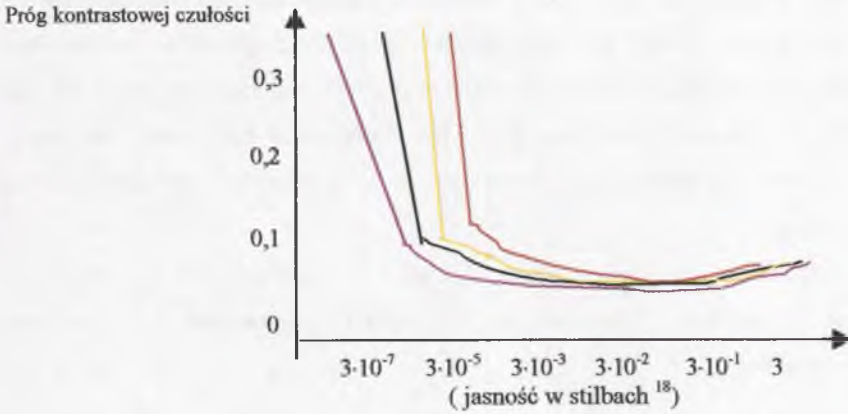
W przypadku dużych wielkości I – wielkość d można pominąć. W zakresie małych wielkości $I - d$ – wywiera znaczący wpływ. Przyczyną zwiększania się progu kontrastowej czułości przy większych jasnościach jest istnienie granicy pobudliwości unerwionych elementów oka, przy zbliżeniu do której wzmocnienie elementu pobudzającego staje się coraz mniej widoczne. W skrajnym przypadku, gdy I jest dostatecznie duże, zaden dodatkowy przyrost ΔI nie może wywołać jakiegokolwiek różnicy w odczuwaniu siatkówki oka bez względu na wielkość ΔI .

Próg kontrastowej czułości zwiększa się wraz ze zmniejszeniem się wymiarów obserwowanego przedmiotu. Zależność progu kontrastowej czułości od wymiarów przedmiotu ilustruje rys. 10.



Rys. 10 Zmiana progu kontrastowej czułości w zależności od wymiarów kątowych przedmiotu.

Wielkość progu kontrastowej czułości przy małej jasności zależy także od barwy przedmiotu. Próg kontrastowej czułości posiada najmniejszą wartość we fioletowej części widma, największą zaś w części czerwonej. Zależność pomiędzy progiem kontrastowej czułości a jasnością i barwą została przedstawiona na rys. 11.



Rys. 11 Próg kontrastowej czułości: kolor czarny odpowiada powierzchni białej.

Pojęcie progu kontrastowej czułości daje możliwość ustalenia warunków niezbędnych dla widoczności przedmiotu. Warunki takie łatwo jest ustalić mając na uwadze fakt, że każdy przedmiot obserwowany jest zawsze nie w oderwaniu (samodzielnie, bez udziału innych przedmiotów, które dla potrzeb tych rozważań nazwiemy tłem) lecz na tle drugiego przedmiotu. Na przykład czarne litery obserwujemy na tle białego arkusza papieru. Między obserwowanym przedmiotem a otaczającym go tłem istnieje zawsze pewien kontrast jasności.

Kontrastem blasku lub *jasności* nazywamy różnicę jasności przedmiotu i tła w stosunku do jasności tła. Kontrast jasności wyraża się następującym wzorem:

$$\frac{H_p - H_t}{H_t} \quad /28/$$

gdzie: H_p – blask (jasność przedmiotu);
 H_t – jasność tła

¹⁸ 1 stilb [sb] jednostka pochodna luminancji, luminancja powierzchni płaskiej, której pole 1 cm² świeci w kierunku normalnym światłością 1 kandel.

Obserwowany przedmiot jest lepiej i dokładniej widoczny wtedy, gdy kontrast jasności jest większy. Wraz ze zmniejszaniem się kontrastu jasności pogarsza się widoczność

przedmiotu i w końcu, przy pewnej dostatecznie małej wielkości kontrastu, jest on mniejszy od progu kontrastowej czułości i wtedy obserwowany przedmiot przestaje być widoczny. Widoczność przedmiotu w ogóle jest możliwa tylko wtedy, gdy kontrast jasności jest większy od progu kontrastowej czułości.

$$\frac{H_p - H_t}{H_t} > \varepsilon \quad / 29/$$

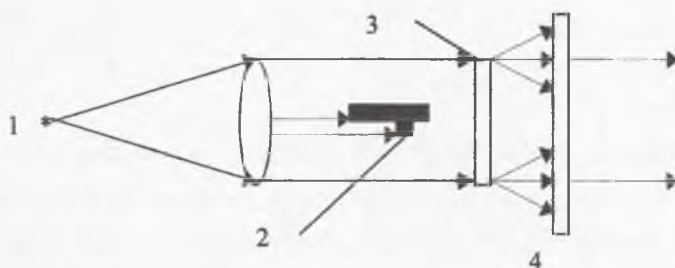
Spełnienie wymogów określonych powyższą nierównością jest warunkiem koniecznym i niezbędnym dla zaistnienia zjawiska widzialności przedmiotu (należy zaznaczyć, że kontrast jasności może być zarówno wielkością dodatnią jak i ujemną. Nie ma to jednak zasadniczego wpływu na widzialność przedmiotu i do obliczeń uwzględniamy tylko wartość absolutną).

Barwa przedmiotu uwarunkowana jest niejednakowym składem widma promieni odbitych lub emitowanych przez sam przedmiot i otaczające ten przedmiot tło. Warunkiem niezbędnym dla zapewnienia widzialności jakiegoś przedmiotu jest spełnienie następujących wymagań: różnica w składzie promieni widma odbitych przez przedmiot i tło powinna nie przekraczać w niebiesko – fioletowej części widma $3 \div 6 \mu\text{m}$, w pomarańczowej $1,5 \div 2 \mu\text{m}$, w zielonej $2 \div 3 \mu\text{m}$ i w czerwonej $3 \div 6 \mu\text{m}$.

Poza tym dla poczucia barwy danego przedmiotu konieczne jest, aby część barwnych promieni w ogólnym strumieniu promieni odbitych (stan nasycenia strumienia) także osiągała pewną określoną, minimalną wielkość poniżej której, z medycznego punktu widzenia, rozpoznawanie barw przez oko jest niemożliwe. Wielkość ta nazywa się *progiem nasycenia* i oznacza się ją symbolem ε_λ . Dla różnych części widma wielkość progu nasycenia jest różna i wynosi odpowiednio: dla czerwonej części widma 3,6%, dla zielonej 8,3%, dla fioletowej 1,1%.

5.2. Przyczyny maskującego działania dymów. Zasięg widoczności.

Przyczyną maskujących własności aerozoli są optyczne zjawiska zachodzące w obłoku dymnym. Bardzo często można spotkać się z twierdzeniem, że maskujące własności dymów i mgieł są oparte na zmianie lub zatrzymaniu przebiegu promieni prostych, pokonujących drogę pomiędzy przedmiotem a obserwatorem. Takie twierdzenie mija się jednak z prawdą a za potwierdzenie tego niech posłuży doświadczenie zilustrowane na rys. 12.



Rys.12. Wpływ kontrastu jasności na widoczność przedmiotu.

Przedmiot (2) oświetlany jest prostopadłą wiązką promieni ze źródła światła (1). Przy obserwacji przez matową (mleczną) szklaną płytkę (3) przedmiot będzie niewidzialny. Widzialność przedmiotu możemy jednak osiągnąć poprzez sztuczne zwiększanie kontrastu jasności. W tym celu pomiędzy matową płytką a obserwatorem umieszczamy obracający się bęben (4) posiadający dużą ilość wąskich, długich i poczernionych otworów. Bęben zatrzymuje boczne, rozproszone promienie światła dzięki czemu obserwacja przedmiotu staje się możliwa.

W rzeczywistości przyczyna maskujących właściwości dymów i mgieł leży jednak w tym, że dzięki rozproszeniu światła słonecznego każdy obłok dymu jest jasno świecąca przestrzeń. Jeżeli obłok dymu znajduje się pomiędzy przedmiotem a obserwatorem to jego jasność dołącza się do jasności przedmiotu i tła, co tym samym powoduje, że kontrast zmniejsza się do wartości mniejszej niż próg kontrastowej czułości ϵ .

Tak na przykład przy jasności jakiegokolwiek przedmiotu, wynoszącej 0,004 kandel i jasności tła, na którym dany przedmiot jest rozpatrywany, wynoszącej 0,15 kandel, kontrast jasności wynosi:

$$\frac{Ht - Hp}{Ht} = \frac{0,15 - 0,004}{0,15} = \frac{0,146}{0,15} = 0,973 \quad / 30/$$

Jeżeli jasność mgły h_T , w której znajduje się przedmiot, wynosi 0,2 kandel to kontrast jasności zmniejszy się i będzie równy:

$$\frac{Ht + h_T - Hp - h_T}{Ht + h_T} = \frac{0,15 + 0,2 - 0,004 - 0,2}{0,15 + 0,2} = \frac{0,146}{0,37} = 0,394 \quad / 31/$$

Pomimo zmniejszania kontrastu jasności rozproszone przez mgłę światło obniża nasycenie promieni odbitych od powierzchni obserwowanego przedmiotu, co w dalszej konsekwencji powoduje, że przedmiot staje się płowy i przy dostatecznej jasności rozproszonego światła różnica w barwie obserwowanego przedmiotu i otaczającym go tle przestaje być odczuwalna. Im grubsza będzie warstwa dymu znajdująca się pomiędzy obserwatorem a przedmiotem, tym silniej zmniejsza się kontrast jasności.

Stopniowo oddalając się od przedmiotu obserwator na pewnej odległości, na której kontrast jasności staje się mniejszy od progu kontrastowej czułości, przestaje widzieć przedmiot. Odległość ta, bardzo ważna dla praktycznych wyliczeń nazywa się *zasięgiem widoczności* i oznaczana jest w literaturze literą S ¹⁹

Zasięg widoczności jest uwarunkowany następującymi czynnikami: optyczne własności obłoku dymnego, warunki oświetlenia, barwa oraz zdolność odbijania powierzchni przedmiotu²⁰. Dla przedmiotów czarnych, które nie odbijają padających nań promieni światła, własna jasność wynosi zero. Dlatego kontrast jasności i zasięg widoczności przedmiotu czarnego określa się stosunkiem jasności tła, na którym

¹⁹ W literaturze oprócz określenia „zasięg widoczności” można spotkać się jeszcze z takimi terminami jak: przejrzystość i dystans widoczności.

²⁰ zdolność odbijania – stosunek ilości światła odbitego przez jakąkolwiek powierzchnię do ogólnej ilości światła padającego na tę powierzchnię.

przedmiot się znajduje, do jasności warstwy powietrza lub mgły znajdującej się między przedmiotem a obserwatorem.

Przy równomiernym oświetleniu w gęstej mgłę zasięg widoczności czarnej powierzchni jest odwrotnie proporcjonalny do współczynnika osłabienia światła. Zjawisko to zinterpretowane zostało poniższym wzorem:

$$S = 2,3 \frac{1}{K} \lg \frac{1}{\varepsilon} \quad / 32/$$

gdzie:

- S – zasięg widoczności w metrach;
- K – współczynnik osłabienia światła w obłoku dymnym w m^{-1} ;
- ε – próg kontrastowej czułości;
- 2,3 – stały współczynnik otrzymany w trakcie przechodzenia z logarytmów naturalnych na dziesiętne.

Przy średniej wartości progu kontrastowej czułości wynoszącej 1,25% równanie określające zasięg widoczności powierzchni czarnej przybiera mniej skomplikowaną postać:

$$S = \frac{4,4}{K} \quad / 33/$$

gdzie:

$$4,4 - \text{współczynnik równy } 2,3 \lg \frac{1}{\varepsilon}$$

W przedstawionym powyżej wzorze wartość S (zasięg widoczności) nie zależy od tego, jak duża jest część pochłoniętego i rozproszonego światła w ogólnym osłabieniu energii promienistej. Z drugiej strony zwiększenie pochłaniania energii promienistej niewątpliwie zmniejsza absolutną wielkość jasności mgły oraz związaną z tym jasność warstwy maskującej. Jednak w większości przypadków stosunek pomiędzy jasnością mgły i jasnością warstwy maskującej a także związany z tym zasięg widoczności pozostają stałe. Tylko w przypadku bardzo silnego pochłaniania światła w czarnych dymach, czarny przedmiot będzie gorzej widoczny. W przypadku nierównomiernego oświetlenia mgły, jasność jej oddzielnych warstw nie jest jednakowa. Najsilniej oświetlone są warstwy znajdujące się w pobliżu źródła światła, najsłabiej zaś warstwy położone najdalej od źródła. Jeżeli obserwator znajduje się

w dużej odległości od źródła światła to jasność warstw leżących pomiędzy przedmiotem a obserwatorem jest większa od jasności warstw położonych poza przedmiotem. Dlatego, w takim przypadku, kontrast jasności jest równy progowi kontrastowej czułości dla mniejszego zasięgu widoczności niż w przypadku oświetlenia równomiernego.

Zjawisko odwrotne ma miejsce w przypadku, kiedy źródło światła jest położone poza obserwatorem, zasięg widoczności będzie wtedy większy w porównaniu z oświetleniem nierównomiernym. Jeżeli pomiędzy obserwatorem a przedmiotem znajduje się granica obłoku dymnego, to nierównomierność oświetlenia może być znaczna (przedmiot w obłoku, obserwator wewnątrz obłoku, słońce za obserwatorem). Okoliczność ta jest przyczyną zmniejszenia niezbędnej do maskowania grubości warstwy dymu i podwyższenia jego właściwości maskujących.

Inaczej dzieje się w przypadku rozpatrywania zasięgu widoczności szarego przedmiotu. Jego zasięg zależeć będzie, oprócz współczynnika osłabienia światła, także od optycznych właściwości samej powierzchni. Wyjaśnia się to tym, że szary przedmiot odbija pewną część padającej na niego energii promienistej. Dlatego też przy obliczaniu kontroli jasności szarego przedmiotu koniecznym staje się uwzględnienie, oprócz jasności warstwy powietrza i mgły znajdującej się pomiędzy przedmiotem a obserwatorem, również jasności samego przedmiotu.

Posiadanie przez szary przedmiot własnej jasności prowadzi do różnicy pomiędzy zasięgiem widoczności czarnego i szarego przedmiotu. Przy oświetleniu równomiernym zasięg widoczności szarej powierzchni wyrażone jest równaniem:

$$S = 2,3 \frac{1}{K} \lg \left[\frac{1}{\varepsilon} \left(1 - \frac{b}{B} \right) \right] \quad / 34/$$

gdzie:

b – jasność przedmiotu,
B – jasność mgły.

W trakcie prowadzenie obliczeń uwzględniamy tylko bezwzględną wartość różnicy 1 -

$\frac{b}{B}$. W gęstych mgłach przy równomiernym oświetleniu i obserwacji wzdłuż ziemi $\frac{b}{B}$ wynosi połowę odbijającej zdolności obserwowanego przedmiotu.

Zdolność odbijająca wyrażona jest zwykle w częściach natężenia padającego światła i dla naturalnych przedmiotów waha się w granicach 0,05 do 0,5.

Znając wielkość zdolności odbijającej przedmiotu i zakładając, że próg kontrastowej czułości wynosi 1,25%, można łatwo określić zasięg widoczności.

W praktyce zasięg widoczności przedmiotu szarego jest niewiele mniejszy od zasięgu widoczności przedmiotu czarnego.

Jasność zasłony dymnej wynosi średnio 0,1 stilba (sb). Znając jasność przedmiotu, można łatwo obliczyć, o ile ten przedmiot będzie lepiej widoczny od przedmiotu czarnego. Maksymalna jasność lub inaczej blask polerowanej, metalicznej powierzchni, na którą padają promienie słoneczne wynosi 100 000 stilbów (sb) [1sb = 10^{-4} cd·m²].

W tym przypadku zasięg widoczności jest 3,65 razy większy niż dla przedmiotu czarnego.

Przy jasności przedmiotu o wartości 1 stilba [jasność ziemi oniej 0,5 stilba, jasność białej powierzchni 3 stilby] jego zasięg widoczności przewyższa odległość widoczności czarnego przedmiotu o 1,5 raza.

W przypadku obliczania widoczności przedmiotów znajdujących się we mgle, na tle jakiegoś terenu, należy uwzględnić jasność i zdolność odbijania nie tylko przedmiotu lecz i danego terenu. Jest to bardzo ważne przy obserwacjach prowadzonych przez lotnictwo.

Zasięg widoczności dla przedmiotów znajdujących się na tle miejscowości wyraża się za pomocą równania:

$$S = 2,3 \frac{1}{K} \lg \left[\frac{1}{\epsilon} \left(\frac{b}{B} - \frac{\delta}{B} - \epsilon \frac{\delta}{B} + \epsilon \right) \right] \quad / 35/$$

gdzie:

b – jasność przedmiotu;

B – jasność mgły;

δ - jasność terenu;

pozostałe oznaczenia jak we wzorze 32.

W gęstych mgłach (niebo pokryte chmurami) i przy obserwacji z góry (z samolotu) $\frac{b}{B} \cdot i \frac{\delta}{B}$ są równe zdolności odbijającej przedmiotu i terenu; przy obserwacji wzdłuż widnokregu $\frac{b}{B} \cdot i \frac{\delta}{B}$ równe są, jak już wspomniano wyżej, połowie zdolności odbijającej.

Zasięg widoczności barwnych przedmiotów określa się kontrastem jasności oraz kontrastem barwy. Zwykle jednak dzięki niewielkiemu nasyceniu światła odbitego barwa przedmiotu przestaje być odróżnialna na odległości mniejszej niż zasięg widoczności. Dlatego też zasięg widoczności barwnych przedmiotów praktycznie równy jest zasięgowi widoczności białych przedmiotów posiadających jednakową zdolność odbijania.

5.3. Widoczność źródeł światła we mgle

W dzień zasięg widoczności źródeł światła własnego – latarni, żarówek itp. Określa się na zasadzie tych samych warunków, według których określa się zasięg widoczności tylko przedmiotów odbijających światło. Tak jak i tam, główną przyczyną maskujących własności mgły jest rozproszenie promieni słońca przez mgłę i zmniejszenie przez to kontrastu pomiędzy źródłem światła i jego otoczeniem.

Zjawiskiem mającym również wpływ na kontrast jest rozpraszanie światła pochodzącego z samego źródła i dlatego przy obliczaniu zasięgu widoczności należy uwzględnić zarówno rozproszenie promieni słonecznych jak i rozproszenie światła pochodzącego ze źródła. W nocy zasadnicze znaczenie ma rozproszenie światła emitowanego przez same źródło (żarówka, lampa latarni morskiej itp.).

Dla badań prowadzonych w warunkach nocnych wzór do obliczania zasięgu widoczności przybiera następującą postać:

$$S = \frac{2,3}{K} \lg \left(\frac{1}{\varepsilon} \cdot \frac{\beta}{B} \right) \quad / 36/$$

gdzie:

β - jasność źródła światła (np. żarówka)

Należy pamiętać, że zapewnienie takiego samego zasięgu widoczności w dzień jak w nocy możliwe jest tylko poprzez stosowanie w dzień znacznie silniejszych źródeł oświetlenia. Dzieje się tak dlatego, że oprócz jasności żarówki czy lampy latarni morskiej oraz jasności mgły mamy tu jeszcze do czynienia z rozproszeniem światła słonecznego co wydatnie wpływa na zasięg widoczności. Zwiększanie siły źródła światła nie wpływa jednak wprost proporcjonalnie na zwiększanie zasięgu widoczności. Zjawisko to spowodowane jest faktem, że wraz ze zwiększeniem się jasności emitowanego przez źródło sygnału wzrasta również jasność mgły. Zasięg widoczności źródeł światła we mgle zależy od ich barwy. Przy równej jasności najlepiej widoczny jest sygnał czerwony. Zasięg widoczności czerwonego sygnału jest około dwóch razy większy od zasięgu widoczności sygnału białego, zielonego lub żółtego. Lepszą widoczność czerwonego sygnału wyjaśnia się tym, że współczynnik osłabienia światła dla tej części widma jest mniejszy oraz wielkość określająca próg kontrastowej czułości dla promieni czerwonych jest mniejsza od pozostałych sygnałów.

Zagadnienia do dyskusji i samokontroli

1. Charakterystyka blasku (jasności).
2. Próg kontrastowej czułości.
3. Zasięg widoczności.
4. Widoczność źródeł światła we mgle.

Rozdział VI

WPLYW WARUNKÓW ATMOSFERYCZNYCH ORAZ RZEŻBY TERENU NA ZACHOWANIE SIĘ OBŁOKU DYMNEGO

Przy stosowaniu środków dymnych w działaniach bojowych należy mieć na uwadze fakt, że nie zawsze jest możliwe użycie ich w taki sposób, który zapewni spodziewane efekty. Jednym z podstawowych czynników mających wpływ na możliwość stosowania środków dymnych są warunki atmosferyczne (stan pogody). Zasadniczymi elementami pogody, warunkującymi zachowanie się obłoku dymu są: charakter turbulencji, kierunek i prędkość wiatru, stopień pionowej stateczności powietrza. Pod uwagę należy również brać: temperaturę powietrza, zachmurzenie, opady lub możliwość ich wystąpienia a także ciśnienie atmosferyczne.

Rozpatrując warunki atmosferyczne nie sposób nie wspomnieć o wilgotności, która co prawda nie ma bezpośredniego wpływu na zachowanie się obłoku dymnego ale ma za to duże znaczenie na sam proces wytwarzania dymu.

Temperatura zmienia się okresowo w ciągu doby (dobowe zmiany temperatury) i roku (roczne zmiany temperatury). Przy statecznej i dobrej pogodzie najniższa temperatura występuje najczęściej przed wschodem słońca, najwyższa pomiędzy godzinami 12 – 14. W ciągu roku najwyższe temperatury występują w lipcu a najniższe w styczniu. Wahania temperatury powietrza w rocznym rozrachunku nie wykraczają zazwyczaj poza granice (+30 °C) + (- 30 °C).

6.1 Wiatr i turbulencja

Powstawanie wiatru powodowane jest nierównomiernym ogrzewaniem dużych powierzchni ziemi i przyległych do niej warstw powietrza. Powietrze unosi się nad ogrzany rejonem a następnie opada nad chłodnym. Równocześnie następuje przesunięcie mas powietrza do poziomu ziemi: masy powietrza przesuwiają się z miejsc o wyższym ciśnieniu (dlatego, że jest ono bardziej gęste) do miejsc z niskim ciśnieniem (gdzie powietrza jest rzadsze).

Podstawowe wielkości charakteryzujące wiatr to: kierunek i prędkość. Kierunek wiatru oznacza zawsze jeden kierunek z którego wiatr w danym miejscu wieje. Natomiast prędkość wiatru – jest to odległość jaką przebywa masa poruszającego się powietrza w jednostce czasu. Należy pamiętać, że prędkość wiatru zmienia się okresowo w ciągu doby. Prędkość wiatru przybiera największą wartość w ciągu dnia, najmniejszą zaś w ciągu nocy. Zmiany te najbardziej widoczne są latem, przy ustabilizowanej, dobrej pogodzie, słabiej – przy dużych zachmurzeniach oraz zimą. Przy zmianie charakteru pogody można zaobserwować zmiany prędkości wiatru nie odpowiadające normalnym zmianom dobowym.

W wyniku tarcia mas powietrza o powierzchnię ziemi prędkość wiatru przy ziemi jest minimalna i stopniowo zwiększa się wraz z przesuwaniem się ku górnym warstwom atmosfery. W pewnej odległości od powierzchni ziemi, gdzie przestają już oddziaływać siły tarcia, prędkość wiatru jest stała. Największe zmiany prędkość wiatru zależnie od wysokości można zaobserwować nad powierzchnią ziemi na terenach o dużych nierównościach natomiast najmniejszą nad powierzchnią wody (morza, jeziora, rzeki itp.).

Równoległe z wiatrem w atmosferze następuje ciągle, nieregularne pod względem prędkości i kierunku przesuwanie i mieszanie się dużych i małych mas powietrza – nazywane *ruchem turbulentnym*.

Turbulencja powstaje w wyniku tarcia zachodzącego pomiędzy przesuwanymi się masami powietrza a powierzchnią ziemi i jej nierównościami oraz w wyniku wzajemnego tarcia pomiędzy poszczególnymi warstwami powietrza.

Czynniki zwiększające turbulencję to między innymi: nierównomierne ogrzewanie powierzchni ziemi, mniejsza gęstość niższych warstw powietrza (przy konwekcji). Należy pamiętać, że stopień turbulencji nie jest jednakowy dla poziomych

i pionowych ruchów mas powietrza. Zazwyczaj różnice występują nawet w sąsiednich warstwach.

6.2. Stopnie pionowej stateczności powietrza

Przenoszenie ciepła z powierzchni ziemi do dolnych warstw atmosfery odbywa się przede wszystkim za pośrednictwem konwekcji cieplnej i dynamicznego mieszania się mas powietrza. Prąd powietrzny wstępując lub opadając przenosi się z jednego poziomu na drugi i napotyka na inne warunki ciśnienia zewnętrznego co prowadzi do zmiany temperatury wewnątrz prądu lub masy powietrza.

W dolnych warstwach atmosfery występują silne prądy wstępujące i opadające. Dlatego temperatura zwykle opada tam wraz ze wzrostem wysokości. Wielkość zmiany temperatury powietrza wraz ze zmianą wysokości o 100 metrów nazywa się *pionowym gradientem temperatury*. W niższych warstwach atmosfery (do około 11 kilometrów) wielkość pionowego gradientu temperatury wynosi około $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ co oznacza, że temperatura spada o $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ na każdym kilometrze wzrostu wysokości.

Rozróżniamy trzy stopnie układu temperatury w kierunku pionowym czyli trzy stopnie pionowej stateczności powietrza: izotermię, inwersję i konwekcję.

IZOTERMIA

Przy tym układzie temperatury w kierunku pionowym gradient temperatury w warstwie powietrza na wysokości 20 ÷ 30 metrów od powierzchni ziemi jest równy i nie występuje tutaj zmiana temperatury wraz ze wzrostem wysokości. Izotermia występuje przy pochmurnej pogodzie. W tym przypadku gęste, nisko uformowane obłoki uniemożliwiają intensywne nagrzanie się w ciągu dnia dolnych warstw powietrza i ziemi oraz ochładzaniu tychże nocą. Zimą izotermia występuje wtedy, gdy przy bezchmurnym niebie ogrzewanie niższych warstw powietrza zachodzi bardzo nieznacznie. Wówczas temperatura w przyziemnych i wyższych warstwach atmosfery jest prawie jednakowa. Z izotermią możemy się spotkać latem przy dobrych warunkach pogodowych. Dzieje się tak wtedy, gdy nocna inwersja ustępuje na skutek rozpoczynającego się ogrzewania ziemi a konwekcja jeszcze nie występuje. Izotermia (szczególnie przy bezchmurnej pogodzie) jest bardzo korzystna dla stosowania dymów.

INWERSJA

Występuje wtedy, gdy temperatura powietrza ma przebieg odwrotny, zamiast spadku występuje wzrost temperatury w miarę wznoszenia wysokości, czyli dolne warstwy powietrza są zimniejsze od górnych. Inwersję obserwuje się latem, po zachodzie słońca lub w mroźne dni. Powstaje ona wskutek szybkiego ochładzania się ziemi w porównaniu z powietrzem, jako złym przewodnikiem ciepła. Chłodna ziemia ochładza przylegające do niej warstwy powietrza, które stają się bardziej zimne i gęstsze od warstw wyższych. Największy spadek temperatury przy inwersji ma miejsce nie przy samej powierzchni, ale na pewnej wysokości od niej. Cząsteczki dymu stosunkowo łatwo rozprzestrzeniają się w warstwach sąsiadujących z ziemią, gdzie inwersja nie jest znacząca. Zjawisko inwersji ma różne przyczyny. Powstaje i rozwija się w różnych warunkach fizycznego stanu atmosfery oraz pod wpływem różnych czynników. Dlatego też wyróżniamy kilka rodzajów inwersji.

Inwersja przyziemna – zwana potocznie nocną, powstaje w przyziemnej warstwie atmosfery pod wpływem nocnego oziębienia się powietrza od wychłodzonego podłoża. Na skutek nocnego wypromieniowania ciepła temperatura podłoża znacznie spada powodując jednocześnie spadek temperatury, w warstwie powietrza przylegającej do podłoża. Grubość warstwy inwersyjnej jest niewielka i w terenie równinnym wynosi ona średnio około 50 m. W dolinach rzek i nad akwenami morskimi inwersja może osiągnąć nawet 500 + 700 m., przy czym temperatura przy górnej granicy może latem przewyższać temperaturę powietrza przy powierzchni ziemi nawet o 10° C i więcej.

Z inwersją przyziemną najczęściej możemy spotkać się w czasie bezchmurnej i bezwietrznej pogody: zimą, wiosną i jesienią. Zdarza się również podczas upalnych miesięcy letnich. Zanika zaraz po wschodzie słońca pod wpływem ogrzewania się powierzchni ziemi i rozwoju prądów wstępujących.

Inwersja zimowa występuje wtedy, gdy przez dłuższy czas mamy do czynienia z bezchmurną i bezwietrzną pogodą. Podczas takich warunków ziemia wyparowuje więcej ciepła w nocy niż pobierze w dzień – następuje silne ochłodzenie podłoża i w wyniku tego powstaje inwersja. Grubość inwersji zimowej nad terenem równinnym wynosi około 150 ÷ 200 metrów, a w terenie urozmaiconym osiąga nawet 1000 metrów. Różnica temperatury powietrza pomiędzy górną granicą inwersji zimowej a powierzchnią ziemi może osiągać nawet 20 °C.

Inwersję przyziemną i zimową nazywa się również radiacyjną, czyli inwersją powstałą w wyniku wypromieniowania ciepła.

Inwersja frontowa – tworzy się, gdy powietrze ciepłe wznosi się ponad powietrze chłodne wzdłuż bardzo pochylej w stosunku do ziemi powierzchni frontowej, rozgraniczającej obie masy powietrza.

KONWEKCJA

To prądy wstępujące mas powietrza. W tym układzie, niższe przylegające do ziemi warstwy powietrza mają mniejszą gęstość i wyższą temperaturę niż warstwy górne. Konwekcja występuje latem przy braku zachmurzenia. Ziemia intensywnie się nagrzewa, co powoduje nagrzewanie przyległych, dolnych warstw powietrza. Górne, chłodniejsze, warstwy jako cięższe zaczynają opadać, a dolne, nagrzane, unoszą się do góry. Ogrzewanie przez ziemię przylegających do niej warstw powietrza odbywa się nierównomiernie. W wyniku tego przy konwekcji tworzą się liczne prądy miejscowe oraz zachodzi nieustanne, pionowe mieszanie się powietrza. Konwekcja jest wyjątkowo niekorzystna do zadymiania: w układzie tym obłok dymny szybko ulega rozrzedzeniu unosząc się ku górnym warstwom powietrza. W tablicach 13 i 14 przedstawiono metody określania stopni pionowej stateczności powietrza na podstawie warunków atmosferycznych.

Tablica 13

Okręlanie pionowej stateczności przyziemnej warstwy powietrza na podstawie warunków atmosferycznych

$\frac{\Delta t}{V_1}$ (m/s)	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
Δt	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Konwekcja																Inwersja												
1,5	Konwekcja																Inwersja												
2,0																													
2,5																													
3,0																													
3,5	Izotermia																												
4,0																													
>4,0	Izotermia																												

Zródło: Meteorologia w wojskach obrony przeciwchemicznej. Wyd. WSO Wrocław 1995

$\Delta t = t_{50} - t_{200}$ (gradient temperatury), gdzie t_{50} i t_{200} – temperatura na wysokości odpowiednio 50 i 200 cm od powierzchni ziemi, V_1 – prędkość wiatru na wysokości 1m od powierzchni ziemi.

$$\text{Inwersja } \frac{\Delta t}{V_1^2} \leq -0,1; \text{izotermia } +0,1 > \frac{\Delta t}{V_1^2} \geq -0,1; \text{konwekcja } \frac{\Delta t}{V_1^2} \geq +0,1;$$

Tablica 14

Określanie pionowej stateczności przyziemnej warstwy powietrza na podstawie prognozy pogody (powierzchnia ziemi nie jest pokryta śniegiem)

Prędkość wiatru ($m \cdot s^{-1}$)	Noc			Dzień		
	pogodnie	zachmurzenie średnie	pochmurno	pogodnie	Zachmurzenie Średnie	pochmurno
0,5				Konwekcja		
0,6 – 2,0	Inwersja					
2,0 – 4,0						
Powyżej 4,0		Izotermia			Izotermia	

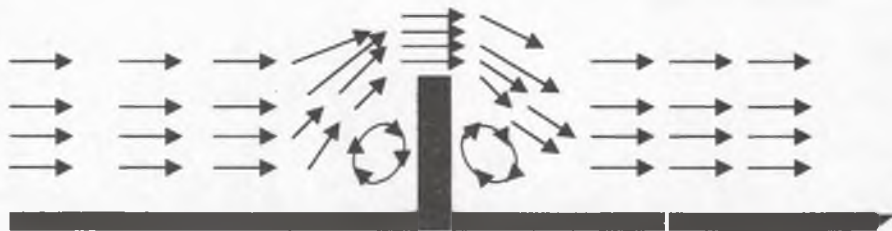
Zródło: *Meteorologia w wojskach obrony przeciwchemicznej*, Wyd. WSO Wrocław 1995

6.3 Wpływ rzeźby terenu na zachowanie się obłoku dymnego

Obłok dymu, pod względem jego fizycznych właściwości w bardzo małym stopniu różni się od czystego powietrza. Obłok dymu przesuwa się w atmosferze razem z otaczającymi go masami powietrza przybierając prędkość stosowną do prędkości wiatru. Przy braku wiatru obłok dymu zalega i utrzymuje się w miejscu, stopniowo rozprzestrzeniając się na wszystkie strony. W wyniku zmiany kierunku wiatru zmienia się również kierunek rozprzestrzeniania się obłoku dymu. Wskutek zjawiska turbulencji atmosfery i nieustannego mieszania się dymu z otaczającym go powietrzem, wizualnie objętość dymu stopniowo rośnie, a stężenie dymu, w miarę zwiększania się odległości od miejsca zadymiania, maleje. Obłok dymu ma kształt półstożka z wierzchołkiem w punkcie zadymiania, a przy zadymianiu z wykorzystaniem większej ilości środków – przybiera kształt półstożka ściętego. Szerokość półstożka wynosi około 0,14 odległości od miejsca wytwarzania dymu a wysokość (izotermia, konwekcja) około 0,07 – 0,1 odległości od miejsca zadymiania.

Ukształtowanie terenu wywiera duży wpływ na zachowanie się obłoku dymnego. Wirowe potoki i strumienie powietrza, które tworzą się w rejonie nierówności terenowych i zabudowań, doprowadzają do silniejszego rozptylania się zasłony dymnej. W warunkach stosowania środków dymnych na morzu obłok dymny, nie napotykając na żadne przeszkody, będzie przemieszczał się zgodnie z kierunkiem wiatru zachowując stabilność. Jeśli na drodze przemieszczania się obłoku znajdują się okręty, obłok dymny podlegać będzie tym samym zjawiskom jak w przypadku

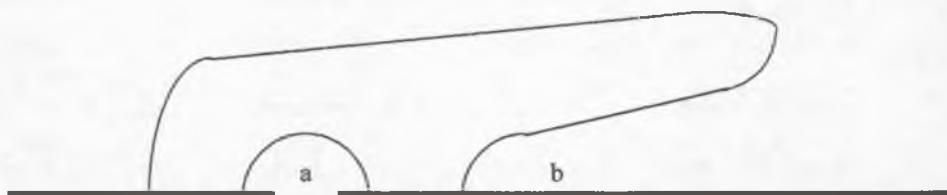
napotkania przeszkody na lądzie. Na rys. 13 przedstawiono schemat powstawania strumieni wirowych przy przeszkodach.



Rys. 13 Schemat powstawania strumieni wirowych przy przeszkodach

Ruch powietrza nad przeszkodą odbywa się ze zwiększoną prędkością, natomiast za przeszkodą prędkość wiatru znacznie maleje. Strefa o małej prędkości wiatru, znajdująca się za przeszkodą, nazywa się cieniem aerodynamicznym. Jego długość zależy od szerokości i wysokości przeszkody, prędkości wiatru itp. Średnio długość cienia aerodynamicznego równa się sześciokrotnej wysokości przeszkody. Za cieniem aerodynamicznym prędkość i kierunek wiatru stopniowo wyrównują się i przybierają poprzednie wartości.

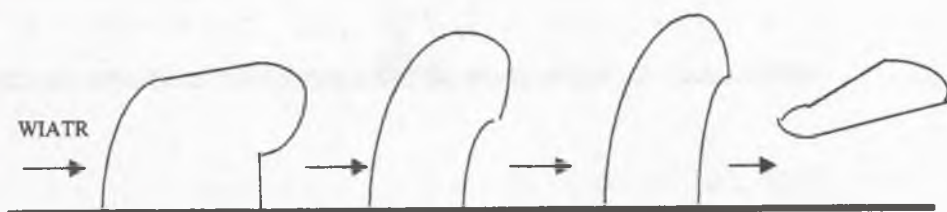
Tworzenie się cienia aerodynamicznego jest jedną z przyczyn powstawania tak zwanych „łuków”, zilustrowanych na rys. 14.



Rys. 14 „Łuk” i „okręt” w obłoku dymnym /a – łuk, b – okręt/.

„Łuk” występuje wtedy, gdy część obłoku dymnego odrywa się od powierzchni ziemi i po przejściu pewnej odległości ponownie opuszcza się na ziemię. Cień

aerodynamiczny może spowodować pełne oderwanie się obłoku dymnego. Wyjątkowo łatwo obłok odrywa się od powierzchni ziemi przy izotermii oraz przy dużej różnicy prędkości wiatru nad przeszkodą i w strefie cienia aerodynamicznego. Drugą z przyczyn powodujących oderwanie się obłoku dymnego od powierzchni ziemi jest wzrost prędkości wiatru wraz ze zwiększaniem się wysokości. Schemat odrywania się obłoku dymnego ilustruje rys. 15.



Rys.15 Schemat odrywania się obłoku dymnego

W pierwszej fazie górne części obłoku posuwają się do przodu tworząc tzw. okręt. W kolejnych fazach okręt staje się coraz bardziej wyraźny aż w końcowym efekcie obłok dymny odrywa się od ziemi.

Podstawowe dane dotyczące wpływu warunków meteorologicznych oraz topograficznych zostały przedstawione w tab. 15.

Tablica 15

Charakterystyka meteorologicznych i topograficznych warunków zadymiania

Elementy sytuacji meteorologicznej i topograficznej	Warunki		
	korzystne	średnie	niekorzystne
prędkość wiatru	$2 \div 4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	$5 \div 7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	do $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ i powyżej $7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
charakter wiatru	stały co do kierunku i prędkości		niestały, porywisty lub cisza
stopień pionowej stateczności atmosfery	brak prądów wstępujących	niewielkie prądy wstępujące, duże zachmurzenie	silne prądy wstępujące
teren	równinny	mało urozmaicony	bardzo urozmaicony

Zródło: *Meteorologia w wojskach obrony przeciwchemicznej, Wyd. WSO Wrocław 1995*

Z informacji zawartych w tabeli 15 wynika, że najbardziej korzystnymi warunkami do stosowania dymów są: inwersja, równiny lub mało urozmaicony teren oraz stały kierunek wiatru o prędkości $2 - 4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Trwałą zasłonę dymną otrzymuje się także przy izotermii i prędkości wiatru od 4 do $7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Natomiast najgorsze warunki do stawiania zasłon dymnych to konwekcja, wiatr poniżej $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ lub powyżej $7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ i w terenie bardzo zróżnicowanym. Przy konwekcji, w upalny letni dzień, przy silnych prądach wstępujących, utrzymanie obłoku dymnego jest w ogóle niemożliwe.

Silny wiatr, przekraczający prędkość $7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, wytwarza w powietrzu znaczne zawirowania, sprzyjające szybkiemu rozplywaniu (rozpraszaniu) się dymu. Poza tym przy silnych wiatrach niezbędne jest zużycie większej ilości środków dymotwórczych. Wiatry o małych prędkościach (poniżej $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) nie są stateczne co do kierunku. W warunkach meteorologicznych charakteryzujących się małymi prędkościami wiatru możliwe jest jedynie stawianie krótkotrwałych zasłon dymnych.

Ogólnie meteorologiczne i topograficzne warunki zadymiania dzieli się zazwyczaj na trzy grupy: korzystne, średnie i niekorzystne, a każda grupa wymaga innego nakładu środków dymnych: minimalnego przy warunkach korzystnych i maksymalnego przy warunkach niekorzystnych.

Zagadnienia do dyskusji i samokontroli

1. Wpływ wiatru i turbulencji na zachowanie się obłoku dymnego.
2. Stopnie pionowej stateczności powietrza.
3. Zachowanie się obłoku dymnego w różnych warunkach terenowych.
4. Charakterystyka meteorologiczna i topograficzna warunków zadymiania.

Rozdział VII

SPRZĘT I ŚRODKI ZADYMIANIA

7.1 Ogólna charakterystyka sprzętu i środków zadymiania

Sprzęt i środki zadymiania weszły do wyposażenia naszej armii dopiero w czasie II wojny światowej. Były stosowane przez polskie jednostki wojskowe na wszystkich frontach wojny. Wojsko Polskie walczące na froncie wschodnim miało w swoim składzie specjalne pododdziały obrony przeciwochemicznej. Jednym z ważnych zadań tych pododdziałów było maskowanie dymem i oślepienie nim przeciwnika. Wykonywano je za pomocą fumatorów syfonowych oraz świec i granatów dymnych. Po zakończeniu wojny pododdziały przeciwochemiczne, wraz ze swym sprzętem, z powodzeniem znalazły miejsce we współczesnej (na tamte czasy) armii a ich potencjał sprzętu i środków był bardzo często wykorzystywany do stawiania zasłon dymnych. Istotne zmiany w dziedzinie sprzętu i środków do zadymiania nastąpiły na początku lat sześćdziesiątych, kiedy to według przyjętych ustaleń problemy pola walki miały być rozwiązywane za pomocą broni jądrowej, a na jądrowym teatrze działań wojennych dymy nie były nikomu potrzebne. Eksperci wojskowi uważali, że użycie dymów wymaga długotrwałych przygotowań, a na to w warunkach przewidywanego wysokiego tempa działań zabraknie czasu. Jednym z czynników powodujących obniżanie znaczenia dymów było wyposażenie wojsk w nową generację środków rozpoznania takich jak: noktowizory; radary, fotografia w podczerwieni i lasery, których działanie dymy zakłócają w niewielkim stopniu lub też w ogóle nie zakłócają. Podjęto w związku z tym decyzję o rozwiązaniu pododdziałów zadymiania, wycofano z wojska generatory dymów, zrezygnowano z produkcji wielu rodzajów środków dymnych. Utrzymano produkcję i wyposażenie wojsk w granaty dymne RGD-2, świece

dymne DM-11 oraz świece BDSz-5 i MDSz. Wymienione środki miały być wykorzystywane do maskowanie działań bojowych pododdziałów.

Po dziesięcioletniej przerwie ponownie zainteresowano się problemem maskowania. Było to spowodowane zmianami w doktrynach wojennych, a także doświadczeniami wyniesionymi z wojny bliskowschodniej z października 1973 r., w której obie walczące strony poniosły duże straty w wozach bojowych (eksperci uważali, że straty mogły być mniejsze, gdyby działania wojsk lądowych prowadzone były pod osłoną zasłon dymnych).

Od drugiej połowy lat siedemdziesiątych w wyposażanie wojsk chemicznych pojawiły się nowe rodzaje środków i sprzętu do wykonywania zasłon dymnych – nasadkowe granaty dymne, generatory dymne GD-1, GD-2 i wytwornice dymów montowane na śmigłowcach Mi-2. Przewidziane są one do stawiania zasłon dymnych dla zabezpieczenia działań okrętów na morzu. Nadal wykorzystuje się granaty dymne RGD-2 i świece DM-11, BDSz i MDSz. Na wozach bojowych, niezależnie od termicznej aparatury dymnej, są montowane wyrzutnie pocisków dymnych. Bojowe wozy piechoty, podobnie jak czołgi wyposażono w termiczną aparaturę dymotwórczą.

7.2 Sprzęt i środki do stawiania zasłon dymnych stosowane w wojsku polskim

Do środków dymnych zalicza się granaty i świece dymne oraz amunicję dymną, a do sprzętu do zadymiania – instalacje, generatory i przyrządy. Umożliwiają one wykonanie zasłony dymnej przez wprowadzenie do powietrza niezbędnej ilości substancji dymotwórczej w postaci aerozolu. Działanie środków i sprzętu do zadymiania w czasie wytwarzania dymu opiera się na jednym z następujących procesów:

- ogrzewania (granaty i świece dymne oraz termiczna aparatura dymna);
- mechanicznym rozdrobieniu cieczy (instalacje i przyrządy);
- rozdrobieniu przez wybuch (pociski i bomby).

Granaty i świece dymne

Ręczne granaty dymne RGD-2. Ręczne granaty dymne RGD-2 występują w dwóch odmianach: wytwarzające biały dym i dym czarny. Granatów wytwarzających biały dym używa się do stawiania krótkotrwałych zasłon dymnych w celu maskowania działań pojedynczych żołnierzy i małych pododdziałów (grup) we wszystkich rodzajach

walki oraz do oślepienia punktów ogniowych przeciwnika. Mogą być także stosowane do wzmacniania zasłon dymnych i likwidowania luk w zasłonach, stawianych za pomocą innych środków dymnych.

Granatów wytwarzających dym czarny używa się przede wszystkim do pozorowania pożarów w celu wprowadzenia przeciwnika w błąd.

Ręczny granat dymny zbudowany jest z: kadłuba, górnej i dolnej diafragmy, pokrywki, dna z taśmą, rurki, zapłonnika, potarki i mieszanki dymotwórczej.

Cylindryczny kadłub granatu ze specjalnej tektury chroni mieszankę dymotwórczą przed wpływem czynników zewnętrznych a szczególnie przed wilgocią atmosferyczną. Diafragmy zapobiegają wysypywaniu się mieszanki dymotwórczej z kadłuba. Otwory umożliwiają umieszczenie zapłonnika i wydzielanie się dymu. Przekrój granatu dymnego RGD przedstawia rys. 16.

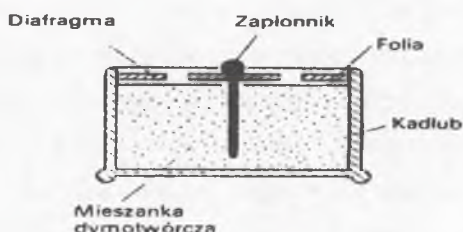


Rys. 16 Przekrój granatu dymnego RGD-2

W skład mieszanki dymotwórczej wchodzi: antracen, chlorek amonowy i chloran potasowy. Mieszanki dymotwórcze stosowane w granatach wytwarzających dym czarny nie zawierają w swoim składzie chlorku amonowego. Podstawowe dane taktyczno - techniczne przedstawiono w tab. 16.

Świece dymne DM-11 (DM-11M) wytwarzające dym biały, przeznaczone są do stawiania zasłon dymnych przez wszystkie rodzaje wojsk, w tym również zasłon długotrwałych i na szerokim froncie. Ponadto mogą być użyte do wzmocnienia zasłon

dymnych stawianych za pomocą innych, bardziej efektywnych środków zadymiania. Przekrój świecy dymnej DM – 11 przedstawia rys. 17.



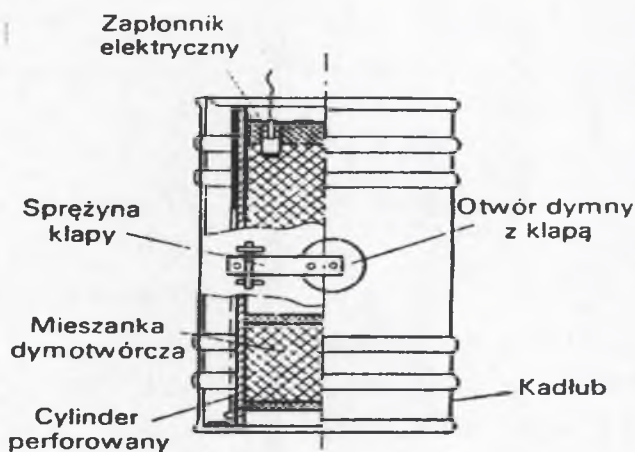
Rys. 17 Przekrój świecy dymnej DM-11

Świeca dymna DM – 11 składa się z: kadłuba, diafragmy, mieszanki dymotwórczej i zapłonnika. Kadłub świecy w kształcie walca służy do umieszczenia mieszanki dymotwórczej. Diafragma z cienkiej blachy zapobiega wysypywaniu się mieszanki dymotwórczej i chroni ją przed wilgocią. Mieszanka dymotwórcza składa się z dwóch warstw: masy dymnej inicjującej i podstawowej. Pierwsza znajduje się w górnej części kadłuba i przeznaczona jest do wytwarzania dymu oraz przyspieszania rozpalenia mieszanki podstawowej a także do tłumienia płomieni. Druga – znajduje się w dolnej części kadłuba i służy do wytwarzania dymu. W skład obu mieszanek wchodzi te same składniki: chlorek amonowy, antracen, chloran potasowy oraz niewielkie ilości mocznika; użyte w różnych proporcjach.

Podstawowe parametry taktyczno - techniczne świecy dymnej DM – 11 przedstawione zostały w tab. 16.

Świece dymne BDSz przeznaczone są do stawiania zasłon dymnych przez czołgi, które nie miały zamontowanej termicznej aparatury dymnej. Mogą być jednak stosowane przez wszystkie rodzaje wojsk. Odmianą morską świecy BDSz jest świeca MDSz charakteryzująca się nieznacznymi różnicami w budowie to znaczący dodatkowy otworem dymnym i komorą ochronną a także przeciwwagą i urządzeniem do zatapiania /wszystkie różnice podyktowane były innym przeznaczeniem tej świecy/. Świece

dymne MDSz są podstawowym sprzętem znajdującym się w wyposażeniu okrętów Marynarki Wojennej RP. Przekrój świecy BDSz przedstawia rys. 18. Przykładowy sposób zamontowania świec dymnych MDSz na rufie okrętu proj. 207 obrazuje rys. 20. Zestawienie danych taktyczno – technicznych środków do stawiania zasłon dymnych ujmuje tab. 16.



Rys.18 Przekrój świecy dymnej BDSz-5



Rys. 19. Widok rufy okrętu z zamontowanymi świecami dymnymi

Generatory dymu

Oddzielną grupę sprzętu do stawiania zasłon dymnych stanowią *generatory dymu*. Generatory GD – 1, GD – 2 są przeznaczone do maskowania wojsk i dużych obiektów. Generatory GD – 1 montuje się na dwuosiowej przyczepie, ciągniętej przez samochód ciężarowo – terenowy, natomiast generatory GD – 2 na podwoziu samochodu Star 266. Znajdują się one w wyposażeniu sformowanych ponownie pododdziałów batalionu i kompanii zadymiania. Pracują na zasadzie termicznego odparowania czynników dymotwórczych w strumieniu gorących gazów, a następnie kondensacji tych par w atmosferze.

Widok ogólny generatora dymu przedstawia rys. 20.

Generatory dymu GD – 1, GD – 2 są przeznaczone do maskowania wojsk i obiektów. Generatory GD – 1 montuje się na dwuosiowej przyczepie, ciągniętej przez samochód ciężarowo – terenowy, natomiast generatory GD – 2 na podwoziu samochodu Star 266. Znajdują się one na wyposażeniu sformowanych ponownie pododdziałów batalionu i kompanii zadymiania. Pracują na zasadzie termicznego odparowania czynników dymotwórczych w strumieniu gorących gazów, a następnie kondensacji tych par w atmosferze.

Zestawienie danych taktyczno – technicznych środków do stawiania zasłon dymnych ujmuje tab. 16.



Generator dymu GD-1

Rys. 20. Widok ogólny generatora dymu GD – 1

Niewątpliwie najnowszym osiągnięciem w dziedzinie technicznych środków dymotwórczych jest *turbinowa wytwornica dymu*, której parametry taktyczno - techniczne obecnie podlegają próbom poligonowym, również w warunkach morskich. W wytwornicy, która jest autonomicznym modułem, zastosowano silnik turbinowy, zapewniający ciągłą emisję dymu. Krótki czas uruchomienia wytwornicy, wynoszący 90 s, decyduje o jej dużej przydatności. Wstępne prognozy przewidują, że może również znaleźć zastosowanie jako urządzenie stacjonarne na okrętach marynarki wojennej. Parametry taktyczno - techniczne wytwornicy dymu zdecydowanie przewyższają możliwości w stawianiu zasłon dymnych stosowanych obecnie na okrętach morskich świateł dymnych MDSz.

W zależności od rodzaju użytego czynnika dymotwórczego urządzenie wytwarza następujące rodzaje dymów:

- ekran dymny o regulowanej grubości i gęstości;
- ekran dymny chroniący przed wykryciem w zakresie podczerwieni.

Wytwornica składa się z następujących elementów:

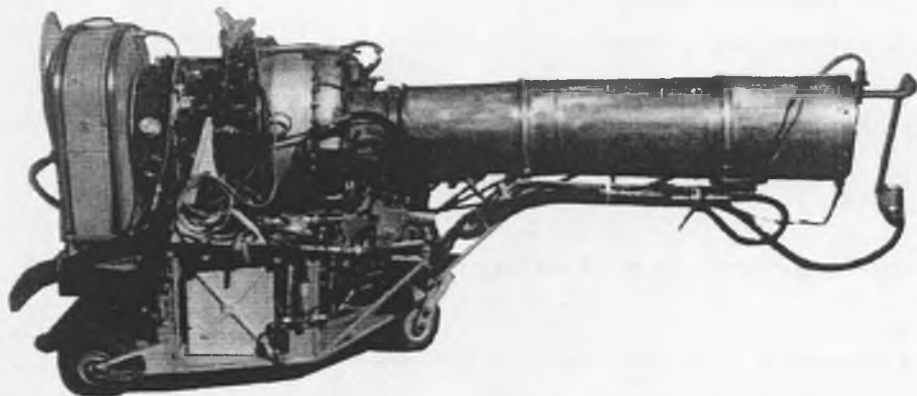
- silnika turbinowego z rozrusznikiem elektrycznym;
- skrzynki sterującej;
- układu elektrycznego;
- układu olejowego;
- układu wytwarzającego dym, składającego się z pompy płynu dymotwórczego i układu spryskiwaczy.

Podstawowe dane techniczne wytwornicy są następujące:

- | | |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| - masowe natężenie przepływu powietrza przez sprężarkę | 1,5 [kg· s ⁻¹] |
| - wydajność czynnika dymotwórczego | 1 600 [dm ³ · h ⁻¹] |
| - masa wytwornicy wraz z zespołem turbinowym | 100 [kg] |
| - wymiary: | |
| - wysokość | 0,8 [m] |
| - szerokość | 0,8 [m] |
| - długość | 1,5 [m] |
| - czynnik dymotwórczy: | |
| - olej maszynowy AN 15Z | |
| - olej sojowy | |

- paliwo:	
- rodzaj	T-1, Ts-1 wg. GOST10227-62
- zużycie	oraz ich mieszaniny, JET A - 1 75 [kg·h ⁻¹]
- układ smarowania:	
- typ	autonomiczny, pod ciśnieniem obiegowy
- rodzaj oleju	B - 3W wg. MRTU-38-1-157-65, CASTROL 599
- zużycie oleju	2 + 0,2 [dm ³ ·h ⁻¹]
- układ rozruchowy:	
- rodzaj	automatyczny
- zasilanie	akumulator 20 NKRN-25 lub inne źródło o napięciu 27V± 10%

Widok ogólny turbinowej wytwornicy dymu przedstawia rys. 21.



Rys. 21 Turbinowa wytwornica dymu

Demonstrację zasłony dymnej wytworzonej przez turbinową wytwornicę dymu prezentuje rys. 22.

Oprócz zaprezentowanego sprzętu i środków w wyposażeniu wojsk znajdują się następujące przyrządy i instalacje do zadymiania:

- nasadkowe granaty dymne NGD;

- termiczna aparatura dymna TAG;
- 80-mm czołgowe wyrzutnie granatów dymnych;
- lotnicze wyrzutnie dymne LWD;
- artyleryjskie pociski dymne;
- lotnicze bomby dymne.



Rys. 22 Zasłona dymna wytworzona przez turbinową wytwornicę dymu

Podstawowe dane taktyczno - techniczne granatów i świec dymnych

Tablica 16

Dane taktyczno - techniczne	Ręczny granat Dymny RGD-2	Świeca dymna DM-11	Świeca dymna DM-11M	Świeca dymna DMCh-5	Świeca dymna DSCH-15	Świeca dymna BDSz	Świeca dymna MDSz	Świeca dymna DSz-100
kadłub	cyliner z tektury	cyliner z blachy (DM-11 bez pokrywy)		cyliner z blachy		zewnetrzny cyliner z blachy karbowanej, wewnetrzny z blachy perforowanej		
wymiary kadłuba: - średnica [mm] - długość [mm]	52 204	155 105 (z pokrywą)	164 102	155 100	155 300	400 480	400 480	430 1050-1058
masa [kg]	0,5/0,53/	2,1-2,2	2,2-2,3	2,6-2,7	7-7,5	40	43-45	126-135
substancja dymotwórcza	antracen, chlorpek amonowy, chloran potasowy (RGD-dym czarny bez chloru amonowego DM-11m - mocznik)	szesiochloroetan, proszek, pył aluminiowy, olej przemyślowy		antracen, chlorpek amonowy, chloran potasowy			mieszanka antracenowa	
masa mieszanki dymotwórczej [kg]	0,33-0,37	1,8-1,97	1,9-2,0	2,2-2,3	6,3-6,8	30,5-33,5	31,5-34,5	102,5-111
zapalnik	tarciowy w otworze mieszanki dymotw.	tarciowy, wkładany przed zapaleniem świecy		tarciowy			uniwersalny (elektryczny, uderzeniowy)	
czas rozpalenia [s]	do 10	do 30	do 30	do 30	do 30	25	do 40	do 35
czas intensywnego dymienia [min]	0,8-1,3	5-7		14-16			5-7	
długość zasłony [m]	do 30	do 100		70			300	
szerokość zasłony [m]	5-8	10-15		50-60			100	
czas dopalania [min]	-	-		-			do 2	
							do 3	
							do 2	

Zródło: "Wojсковы прегляд техничны і логістычны нр 1/98 „Спрэці і стрэкі задымлення"

Przeznaczenie, wyposażenie i możliwości śmigłowców w zakresie stawiania zasłon dymnych

Śmigłowce wyposażone w środki i urządzenia dymne są przeznaczone do szybkiego i manewrowego stawiania liniowych i powierzchniowych zasłon dymnych w celu maskowania wojsk oraz obiektów przed rozpoznaniem i uderzeniami środków ogniowych przeciwnika.

Do stawiania zasłon dymnych wykorzystuje się śmigłowce wyposażone w:

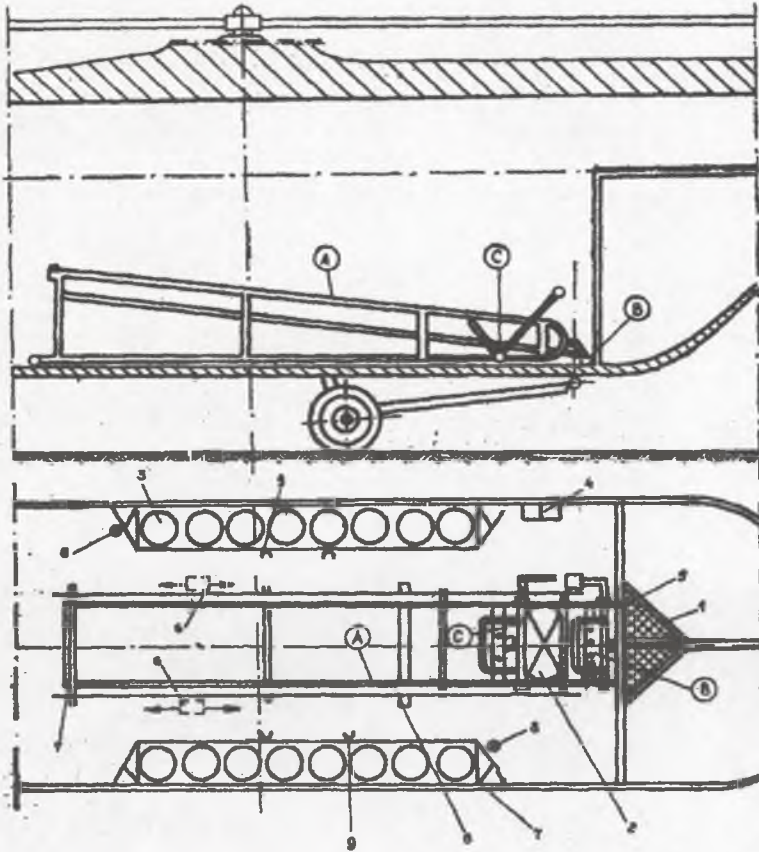
- lotnicze wyrzutnie dymne (LWD);
- wytwornice dymu;
- urządzenia do manewrowego minowania

Lotnicze wyrzutnie dymne LWD



Rys.23 Śmigłowiec Mi 8

Wyrzutnie umożliwiają stawianie zasłon dymnych za pomocą świec dymnych BDSz (MDSz). Świece umieszcza się na wyrzutni (8 sztuk) i w części transportowej śmigłowca (16 sztuk).Widok ogólny LWD ilustruje rys.



Rys.24 Schemat lotniczej wyrzutni dymnej LWD w kabinie ładunkowej śmigłowca:

1-klapa łuku zrzutu, 2-miejsce zrzutu świec, 3-świece zapasowe, 4- miejsce pracy starszego operatora i operatora, 5-uchwyty mocowania wyrzutni, 6-miejsce pracy ładowaczy, 7- wspornik ograniczający ruch świec do tyłu, 8-dodatkowe gaśnice, 9-uchwyty mocowania łomów.

W skład wyrzutni wchodzi: - pochylnia (A) o kącie nachylenia ramy prowadnicy, wynoszącym 5°. Na pochylni zamontowany jest mechanizm zrzucający (B) i stopujący (C). Pierwszy umożliwia zatrzymanie świecy w celu uruchomienia przed jej zrzutem zapłonika mechanicznego, a drugi umożliwia wprowadzenie jednocześnie wszystkich świec dymnych na mechanizm zrzucający; - rama stabilizująca świece dymne w ładowni śmigłowca. Obsługę wyrzutni stanowią: starszy operator, operator, ładowacz.

Wykonywanie zasłon dymnych przez śmigłowce wyposażone w LWD

Śmigłowce Mi8 wykorzystuje się do stawiania maskujących, oslepiających i pozornych zasłon dymnych. W czasie stawiania zasłony dymnej śmigłowiec powinien wykonywać lot na wysokości 30 – 40 m z prędkością 50 - 150 km/h. Zapalone świece dymne wyrzuca się ze śmigłowca przez otwarty luk. Częstotliwość zrzucania świec zależy od prędkości lotu i ustalonych odległości między nimi. Częstotliwość oblicza się w sekundach za pomocą wzoru:

$$N_t = \frac{a}{V} \cdot 3,6 s$$

gdzie: a – odległość między zrzuconymi świecami w metrach;

V – prędkość lotu śmigłowca, w km/h;

3,6 – współczynnik przeliczeniowy

Długość rubieży zadymiania, wzdłuż której jeden śmigłowiec może postawić zasłonę za pomocą 24 świec BDSz (MDSz) podana została w tab.

Tablica 17

Warunki atmosferyczne	Długość rubieży (km) w kierunku wiatru		
	do lub od przeciwnika	skośnym	Bocznym
Korzystne	2,4	4,1	6,0
średnie	1,8	3,2	4,8
Niekorzystne	1,2	2,4	4,1



Dla podtrzymania zasłony dymnej wysyła się następne śmigłowce, które powinny wykonać lot na tym samym kursie rozpoczynając zadymianie po 6-7 minutach

Innym sposobem wykorzystania śmigłowców do stawiania zasłon dymnych jest wyposażenie śmigłowca Mi2 rys. w wytwornicę dymów WDZ80.



Rys.25 Śmigłowiec Mi2

Wytwornice dymu stanowią etatowe wyposażenie śmigłowców wersji chemicznej pododdziałów powietrznego rozpoznania skażeń ogólnowojskowych związków operacyjnych i okręgów wojskowych, związków operacyjno-taktycznych wojsk obrony powietrznej kraju oraz wytypowanych śmigłowców marynarki wojennej. Wytwornica działa na zasadzie wykorzystania ciepła gazów wylotowych silnika turbinowego śmigłowca do odparowania substancji dymotwórczej. Substancją tą może być olej maszynowy, olej napędowy olej solarowy albo ich mieszanina. Rolę pojemników na substancję dymotwórczą spełniają dodatkowe zbiorniki paliwa podwieszane na zewnątrz śmigłowca. Pojemność zbiorników wynosi 476 dm^3 i stanowi jednostkę napełnienia substancji dymotwórczej. Pozwala to na 20-25 minut nieprzerwanego dymienia. W średnich warunkach atmosferycznych zasłona dymna osiąga rozmiary:

- szerokość 30 – 40 m.;
- wysokość 30 – 40 m.;

- trwałość 2 – 3 min.

Stawianie zasłony może odbywać się przy prędkościach lotu od 0 do 150 km · h⁻¹.

Optymalne parametry lotu podczas zadymiania wynoszą:

- prędkość 60 – 100 km · h⁻¹;
- wysokość 10 – 20 m.

7.3 Sprzęt i środki do stawiania zasłon dymnych stosowane w armiach innych państw

Urządzenia i środki do zadymiania znajdują się obecnie w wyposażeniu sił zbrojnych większości państw. Według ocen wielu grup specjalistów ich wszechstronne zastosowanie na polu walki może znacznie przyczynić się do ograniczenia strat własnych. Doświadczenia z operacji „Pustynna Burza” wykazały jednak, że zasłony dymne nie były w stanie zapewnić skutecznej osłony maskowanym obiektom. Wynikało to z faktu dość powszechnego stosowania na polu walki techniki optoelektronicznej, w tym pracującej w zakresie promieniowania ciepłego (podczerwonego). Konsekwencją zebranych doświadczeń było podjęcie prac badawczo – rozwojowych nad zastosowaniem środków dymnych do maskowania w zakresie nie tylko promieniowania widzialnego lecz także podczerwonego, oraz fal milimetrowych. Efektem tych prac było opracowanie i wprowadzenie do wyposażenia sił zbrojnych nowych środków zadymiających, w tym wielopasmowych. Należą do nich między innymi:

- urządzenia do maskowania dymem, pracujące na zasadzie termicznego odparowania mieszanek dymotwórczych w strumieniu gorących gazów, a następnie kondensacji tych par w atmosferze; przeznaczone do stawiania zasłon dymnych na dużych obszarach i maskowania dużych obiektów, stosowane praktycznie we wszystkich rodzajach wojsk,
- wyrzutnie granatów dymnych pojazdów opancerzonych i czołgów, umożliwiające wykonywanie krótkotrwałych zasłon dymnych za pomocą granatów dymnych w celu ograniczenia przeciwnikowi widoczności (oślepienia jego stanowisk ogniowych lub punktów obserwacyjnych) oraz osłony wozów bojowych,
- granaty dymne, przeznaczone do maskowania działań pojedynczego żołnierza i małych grup żołnierzy, oślepienia punktów ogniowych przeciwnika za pomocą

krótkotrwałych zasłon dymnych we wszystkich rodzajach działań bojowych oraz do sygnalizacji.

Charakterystyka sprzętu i środków do stawiania zasłon dymnych stosowanych w armiach innych państw, między innymi Federacji Rosyjskiej, Wielkiej Brytanii, Niemiec itd. zawiera tab. 18.

Charakterystyka sprzętu i środków w do stawiania zasłon dymnych stosowanych w armiach innych państw

Nazwa środka	Producent	Czas rozpalania [s]	Czas intensywnego dymienia [min]	Długość zasłony [m]	Szerokość zasłony [m]	Wysokość zasłony [m]
TDK-2K	Federacja Rosyjska	60-90	240-720	nie mniej niż 1000	-	-
Urządzenie do maskowania 902 TUCHA	Federacja Rosyjska	-	-	-	10-30	8-10
wyrzutnia granatów POMALS	Israel	2	0,5-1,5	-	50	8
Wyrzutnia granatów Granaty dymne NT	Niemcy	0,5	1,6	40	-	-
Granaty dymne HC-75	Austria	4,5	-	400	-	-
Granaty dymne Smoke 93	Austria	-	0,33	400	-	-
Granaty dymne V101	Wielka Brytania	-	0,4	25-30	-	-

Źródło: Nowoczesne urządzenia i środki do zadymiania, Wojskowy Przegląd Zagraniczny 4(222)

Zagadnienia do dyskusji i samokontroli

1. Skład mieszanek dymotwórczych.
2. Podstawowe parametry taktyczno – techniczne sprzętu i środków do zadymiania.

Zakończenie

Nieustanny rozwój nauki pozwala przypuszczać, że obecne osiągnięcia w dziedzinie poszukiwania skutecznych środków maskowania obiektów wojskowych nie stanowią jedynych możliwych do przyjęcia rozwiązań. O ile dość dobrze zostały poznane zjawiska fizyczno – chemiczne jakie zachodzą w dymach, o tyle nie dają pełnej satysfakcji sprzęt i urządzenia służące do ich wytwarzania.

Procesy wytwarzania dymu o właściwościach maskujących w stosunkowo dużym zakresie długości fal elektromagnetycznych i oczekiwanej gęstości (grubości) zasłony dymnej nie są łatwe do realizacji, szczególnie w trudnych warunkach pogodowych na morzu. Możliwość uzyskania dymu skutecznego do maskowania obiektów wytwarzających promieniowanie podczerwone, o długości fal powyżej $7 \cdot 10^{-7}$ m (np. okrętów na morzu), posłużyło jako inspiracja do dalszego poszukiwania urządzeń do wytwarzania zasłon dymnych w działaniach bojowych na morzu. Z pewnością równoległe z rozwojem technicznych środków maskujących nastąpi rozwój w dziedzinie taktyki ich użycia.

Specyfika działań bojowych na morzu powoduje potrzebę posiadania sprzętu i urządzeń do stawiania zasłon dymnych o zróżnicowanych możliwościach technicznych. W zależności od sytuacji taktycznej i warunków meteorologicznych, a szczególnie kierunku i prędkości wiatru mogą okazać się przydatne zarówno wytwornice (generatory) dymów, jak i świece dymne. Z pewnością skuteczność zasłony dymnej zależeć będzie w głównej mierze od przyjętego sposobu maskowania (poprawnych obliczeń) i powiązania jej z innymi środkami maskującymi. Szczegółowy opis zasad i sposobów stawiania zasłon dymnych znajduje się w podręczniku: E. Basińskiego, J. Posiły „Nawigacja taktyczna”, sygn. Mar. Woj. 789/79

Piśmiennictwo

Badanie środków dymnych, Wyd. MON W-wa 1971

Basiński A. Zarys fizykochemii koloidów, Wyd. PWN W-wa 1957

Granaty i świece dymne, Instrukcja służby chemicznej, Wyd. MON W-wa 1955

Nowak I. Solarz J. Sprzęt i środki do zadymiania, Wojskowy Przegląd Techniczny
i Logistyczny nr 1/98

Ryński B. Szkolenie chemiczne cz.I, Wyd. WSMW Gdynia 1982

Stryszak E. Rozważania wstępne o uwarunkowaniach widzialności obiektów w
zasłonach dymnych, Biuletyn WAT XXX.9. W-wa 1981

Stryszak E. Widzialność obiektów poprzez warstwowe ośrodki aerodyspersyjne,
Wyd. WAT W-wa 1991

Wejcer J.I. Łuczyński G.P. Dymy maskujące, Wyd. MON W-wa 1954

