

Henryk BADURA

OKREŚLENIE WYDATKU METANU DO OTWORÓW ODMETANOWANIA
JAKO FUNKCJI DEPRESJI I CZASU

Streszczenie. W artykule zaproponowano wzór do obliczeń wydatku metanu do otworów odmetanowania. Na podstawie danych z książek odmetanowania przeprowadzone obliczenia parametrów proponowanej funkcji oraz dokonano interpretacji otrzymanych wyników. Wskazano na zależność pomiędzy wartościami parametrów funkcji.

1. Wstęp

W kopalniach silnie gazowanych, w celu zapewnienia bezpiecznych warunków pracy, konieczne jest stosowanie odmetanowania. Odmetanowanie spełnia dwie funkcje, a mianowicie chroni istniejące wyrobiska przed nadmiernym wydzielaniem gazu oraz powoduje obniżenie zawartości metanu w partiach złoża dotąd nie naruszonych wyrobiskami górniczymi. Wykonanie oraz utrzymanie sieci odmetanowania wymaga znacznych nakładów. Dlatego też uzasadnione są starania zmierzające do opracowania matematycznego modelu sieci odmetanowania, aby na tej podstawie optymalizować jej pracę pod względem ekonomicznym.

W pracy [3] określa się, że sieć odmetanowania składa się z trzech elementów o różnych charakterystykach, a mianowicie z otworów drenażowych, rurociągów i sprzężarek. W literaturze spotyka się opracowania, których celem było określenie charakterystyki pracy otworów drenażowych. Przedstawiano ją zazwyczaj w postaci związku między wydajnością otworów i depresją, lub też jako funkcję pomiędzy wydatkiem gazu i czasem eksploatacji otworów. Nie podano natomiast takich wzorów, które jednocześnie ujmowałyby wzajemną współzależność wszystkich wymienionych wyżej parametrów.

W niniejszej pracy przedstawiono pewien wzór aproksymacyjny, wyrażający wydatek metanu do otworów jako funkcję depresji w otworach i czasu ich eksploatacji oraz podane wyniki obliczeń parametrów tej funkcji, opartych na pomiarach kontrolnych wykonanych przez pracowników ZOK przy KWK "Naszczonica".

2. Krótką analiza literatury dotyczącej omawianego tematu

Jak już wspomniano wyżej, w literaturze polskiej i zagranicznej spotyka się prace, których celem było określenie charakterystyki pracy otworów drenażowych.

W pracy [5] podano funkcje wydatku gazu z otworów, opierając się na pomiarach jego wartości przy różnych wielkościach podciśnienia. Przedstawiają się one następująco:

$$Q = A + B \sqrt{P} \quad (1)$$

$$Q_p = -A_p + B_p \sqrt{P} \quad (2)$$

$$Q_o = A_o + B_o \sqrt{P} \quad (3)$$

gdzie:

- Q, Q_p, Q_o - odpowiednio wydajność metanu, powietrza i mieszaniny gazowej,
 A, A_p, A_o, B, B_p, B_o - współczynniki charakteryzujące wydajność metanu, powietrza i mieszaniny gazowej,
 P - podciśnienie.

Autor pracy [6] prowadził badania efektywności odmetanowania w sąsiedztwie ścian. Doszedł on do wniosku, że wydajność metanu można opisać wzorem

$$Q = A \cdot r \sqrt{P - P_o} \quad (4)$$

gdzie:

- A - współczynnik proporcjonalności,
 r - ilość otworów podłączonych do jednego odoinka pomiarowego,
 P - podciśnienie w otworach drenazowych,
 P_o - podciśnienie, poniżej którego metan nie dopływa do otworów.

W większości przypadków wartość P_o była ujemna, to znaczy, że metan był emitowany do otworów na skutek własnego ciśnienia.

Obszerne badania w kierunku określenia optymalnej depresji w otworach drenazowych przeprowadził Z. Cias [1,2]. Analiza wyników pomiarów wykazała, że w przedziale rozpatrywanych depresji, zależność między wydatkiem gazu z otworu i podciśnieniem można opisać wzorem

$$Q = A P^2 + B P + C \quad (5)$$

gdzie:

- Q - wydajność otworów drenazowych,
 P - depresja,
 A, B, C - współczynniki.

Współczynnik C określa ilość gazu wydzielonego z otworów pod wpływem panującego ciśnienia gazu w złożu. Może on posiadać wartość dodatnią, zerową lub ujemną. Jak wykazały badania przeprowadzone na otworach w różnym czasie ich eksploatacji, wartość współczynnika C jest zmienna i maleje wraz z wyczerpywaniem się zasobów gazu w sąsiedztwie otworów.

Współczynnik B charakteryzuje własności filtracyjne skał. Duże wartości tego parametru uzyskano w skałach szczelinowatych, silnie gazonośnych.

Wartość współczynnika A była we wszystkich przypadkach ujemna, tzn., że krzywa wydajności metanu posiadała zawsze maksimum.

W omawianej pracy zaproponowano również wzór uzależniający wydatek metanu od czasu eksploatacji otworów drenażowych. Przetawiono go w postaci

$$Q = \frac{A}{\sqrt{t} + B} \quad (6)$$

gdzie:

Q - wydatek metanu do otworów,

t - czas eksploatacji,

A, B - współczynniki charakteryzujące złożę oraz depresję (przyjmowaną jako stałą w czasie).

Otwór wiertniczy można traktować jako najprostsze wyrobisko górnicze. Toteż nie będzie błędem przyjęcie do obliczania jego wydajności reguł odnoszących się do wyrobisk korytarzowych.

J. Roszkowski [4] na podstawie rozważań teoretycznych i pomiarów na kopalni stwierdził, że ilość metanu wydzielającego się do zatrzymanego wyrobiska jest funkcją czasu w postaci

$$Q = A e^{-Ct} \quad (7)$$

gdzie:

A, C - współczynniki,

t - czas.

Widać więc, że ilość wydzielanego metanu zależy w sposób eksponencjalny od czasu. Współczynnik A oznacza wydzielanie początkowe, tzn. dla $t=0$, a parametr C zależy od własności filtracyjnych górotworu oraz stosunków gazowych.

3. Proponowana postać funkcji $Q = f(P, t)$

Obliczone na podstawie pomiarów parametry funkcji (1) do (5) odnoszą się tylko do tego czasu, w którym były wykonane badania. Jest on krótki w porównaniu z czasem eksploatacji otworów, toteż szybko się dezaktualizują. Funkcje te nie mogą więc stanowić podstawy do przewidywania wydajności otworów drenażowych w dalszym okresie ich pracy.

Wzory (6) i (7) zakładają stałą w czasie wielkość depresji, co w praktyce jest niemożliwe do zrealizowania.

W przedstawionej pracy w oparciu o omówione poprzednio zależności oraz o wstępną analizę wyników założono, że ilość gazu wypływającego z górotworu przy różnej depresji określa wzór

$$Q_{gP} = A_1 + B_1 \cdot P^D, \quad \text{dla } t = \text{const} \quad (8)$$

Został on przyjęty na podstawie wzoru (1), z tym jednak że zamiast stałej wartości $D = 0,5$ przyjęto wielkość zmienną, wyznaczaną dla każdej wnęki odmetanowania.

Jako funkcję opisującą zależność natężenia wypływu gazu od czasu przyjęto wzór (6) w formie

$$Q_{gt} = A_2 \cdot e^{-Ct}, \quad \text{dla } P = \text{const} \quad (9)$$

Aby uzyskać funkcję $Q_g = f(P, t)$, prawe strony wzorów (8) i (9) pomnożono przez siebie, uzyskując

$$Q_g = (A_3 + B_3 \cdot P^D) \cdot e^{-Ct} \quad (10)$$

gdzie:

$$A_3 = A_1 \cdot A_2$$

$$B_3 = A_2 \cdot B_1$$

Z tak zbudowanej zależności można łatwo uzyskać wzór (8) podstawiając za czas t konkretną wartość, lub wzór (9) przyjmując depresję P jako stałą.

Należy jeszcze dodatkowo podkreślić, że wzór (10) stosuje się do gazu wypływającego ze złoża, czyli zawierającego oprócz metanu kilkuprocentową domieszkę innych gazów (azotu, dwutlenku węgla i innych). Obliczanie jego parametrów jest prostsze gdy po lewej stronie będzie wydatek metanu do otworów drenazowych. Zakładając, że stężenie metanu w gazie naturalnym jest stałe, można zapisać, że

$$Q_g = Q + v \cdot Q_g$$

lub

$$Q_g = \frac{Q}{1-v} \quad (11)$$

gdzie:

Q - natężenie wypływu gazu,

$v = \frac{Q_g - Q}{Q_g}$ - zawartość gazów nie będących metanem w gazie naturalnym.

Po wstawieniu (11) do (10) otrzymujemy

$$Q = (A + B \cdot P^D) e^{-Ct} \quad (12)$$

gdzie:

$$A = A_3 (1-V)$$

$$B = B_3 (1-V).$$

Funkcja (12) zawiera cztery parametry, których konkretne wartości należy wyznaczyć na drodze obliczeń, korzystając ze znajomości wielkości Q , P oraz t odczytanych z książek pomiarowych. Posłużono się do tego celu metoda najmniejszych kwadratów. Zadanie jest o tyle trudne, że dwa parametry, a mianowicie C i D nie są wyznaczalne efektywnie. Dlatego też obliczenia można wykonać jedynie z zastosowaniem elektronicznej maszyny cyfrowej. Program dla maszyny cyfrowej został opracowany w Zakładzie Techniki Eksploatacji Węgla w Warunkach Gazowych przy Instytucie Techniki Eksploatacji Złóż i nosi nazwę HAB5.

Dane do obliczeń wzięto z pomiarów kontrolnych wykonanych dla dwunastu węglók lokalizowanych w podobnych warunkach. Wzięto pod uwagę tylko te pomiary, które były wykonane, gdy w danej węcce pracowały te same otwory drenażowe. Jako jednostkę czasu przyjęto do obliczeń tydzień, a jako jednostkę depresji - mm Hg.

4. Analiza wyników obliczeń

Obliczone wartości parametrów funkcji wraz ze współczynnikami korelacji podano w tabelicy 1. Zamieszczono tam również ilość punktów obliczeniowych oraz ilość otworów wchodzących w skład analizowanych węglók.

Biorąc pod uwagę współczynniki korelacji, można stwierdzić, że funkcja (12) dobrze opisuje proces degazowania. Świadczy o tym fakt, że najniższy współczynnik korelacji wynosi 0,5323, zaś w dziewięciu przypadkach jest niższy niż 0,67. W przypadku węgli 6 wynosi nawet 0,9274.

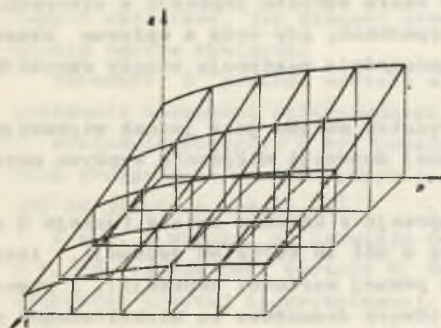
Analizując wartości współczynników A , B , C i D , można zauważyć, że proces degazowania kształtował się według czterech przypadków przedstawionych na rysunkach od 1 do 4.

W pięciu przypadkach (węgli 1, 6, 7, 8, 12) wartości wszystkich parametrów były dodatnie. Taki przebieg funkcji ilustruje rys. 1. Widac z niego, że wydajność otworu wzrasta wraz z depresją, a maleje z upływem czasu. Z takim schematem odgazowania można się spotkać przy degazacji partii górotworu niezawodnionej i nie poddanej wpływowi eksploatacji górniczej. Dodatnia wartość współczynnika A świadczy o tym, że gaz pod wpływem własnego ciśnienia może migrować do otworów drenażowych.

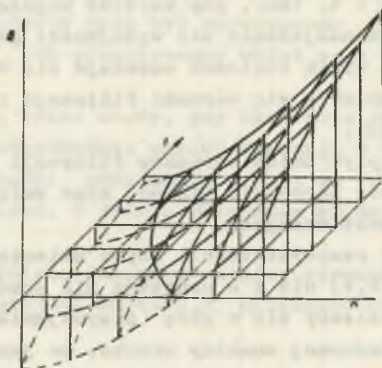
Tablica 1

Parametry funkcji $Q = (A + B \cdot P^D) \cdot Ct$

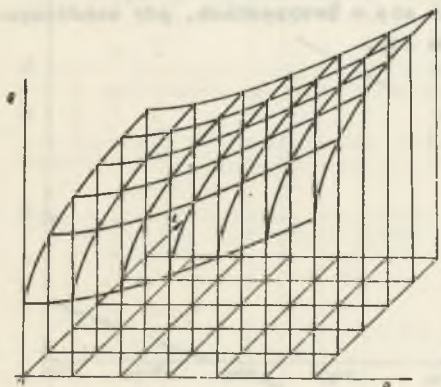
Nr wneki	1	2	3	4	5	6
Ilość otworów	4	7	8	12	7	7
Ilość pomiarów	161	164	164	202	189	93
Parametry funkcji						
A	0,534758	0,9004558	0,823207	1,2780	0,666212	0,425079
B	$0,170785 \cdot 10^{-5}$	$-0,738992 \cdot 10^{-9}$	$-0,220638 \cdot 10^{-8}$	-0,000	$-0,55858 \cdot 10^{-16}$	$0,13363 \cdot 10^{-5}$
C	0,001351	0,002447	0,00400	0,00546	0,002131	$0,2297 \cdot 10^{-2}$
D	2,46398	4,21795	3,2000	3,29751	7,7704	3,71659
Współczynnik korelacji	0,6801	0,6972	0,7763	0,8372	0,6932	0,9274
Nr wneki	7	8	9	10	11	12
Ilość otworów	7	5	15	10	9	3
Ilość pomiarów	47	83	65	188	181	91
Parametry funkcji						
A	14,1086	0,459042	3,80379	-0,16787	0,53927	0,25778
B	$0,811065 \cdot 10^{-11}$	$0,499536 \cdot 10^{-3}$	$0,79833 \cdot 10^{-12}$	0,189212	$0,492273 \cdot 10^{-17}$	$0,18159 \cdot 10^{-5}$
C	0,010043	0,002902	$-0,345 \cdot 10^{-3}$	0,00322	0,001988	-0,001742
D	6,1112	1,26757	7,34199	0,437081	8,48719	2,50439
Współczynnik korelacji	0,5663	0,5451	0,8945	0,7472	0,5323	0,6761



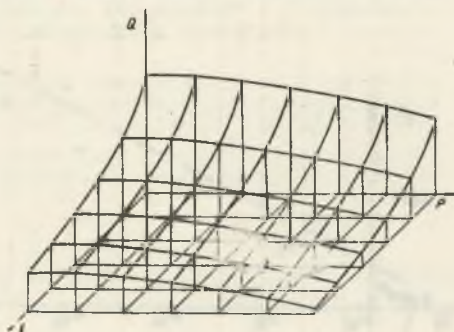
Rys.1. Wykres funkcji $Q = (A + B \cdot P^D) e^{-Ct}$ przy wszystkich parametrach dodatnich



Rys.2. Wykres funkcji $Q = (A + B \cdot P^D) e^{-Ct}$ przy ujemnym parametrze A



Rys.3. Wykres funkcji $Q = (A + B \cdot P^D) e^{-Ct}$ przy ujemnym parametrze C



Rys.4. Wykres funkcji $Q = (A + B \cdot P^D) e^{-Ct}$ przy ujemnym parametrze B

Rysunek 2 przedstawia proces odgazowania, gdy ciśnienie gazu jest zbyt małe, by pokonać opory przepływu (parametr A jest ujemny). Dodatnia wartość parametru C świadczy o tym, że warunki filtracji poprawiały się wraz z czasem eksploatacji otworów. Przypadek taki może mieć miejsce tam, gdzie ciśnienie gazu jest nieduże, a otwory są poddane wpływom eksploatacji lub następuje odwodnienie górotworu w ich pobliżu. Według takiego schematu przebiega odgazowanie otworami wńki 10. W dwóch przypadkach (wńki 12,9) stwierdzono, że wartość parametru C jest ujemna, czyli wydajność odmetanowania rośnie wraz z upływem czasu. Ilustruje to rysunek 3. Taki stan może zaistnieć wtedy, jeżeli warunki filtracji będą ulegały poprawie.

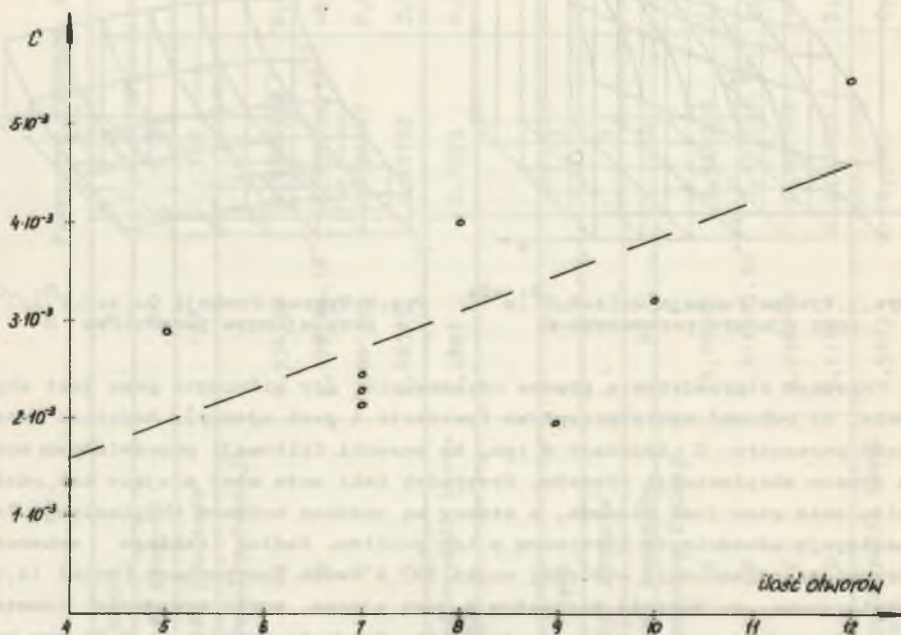
Najtrudniejszy do interpretacji jest przypadek stwierdzony dla wnęk 1, 2, 3 i 4, tzn., gdy wartość współczynnika B jest ujemna. Ma wtedy miejsce zmniejszanie się wydajności gazu w miarę wzrostu depresji w otworach. Taki wynik obliczeń uzyskuje się w przypadkach, gdy wraz z upływem czasu pogarszają się warunki filtracji i jednocześnie następuje ciągły wzrost depresji.

Wpływ zmian warunków filtracji na wydatek metanu jest jednak większy niż wzrost depresji. Dlatego mimo zwiększonej depresji natężenie wypływu metanu jest mniejsze.

W rzeczywistości, gdyby zmieniać depresję w krótkim czasie, funkcja $Q = f(P, t)$ dla $t = \text{constans}$ nie opadałaby w dół ze wzrostem depresji, lecz wznosiłaby się w górę (przynajmniej do pewnej wartości depresji). Z przeprowadzonej analizy wynika, że jeżeli otwory drenażowe są zlokalizowane w górotworze nie poddanym wpływowi eksploatacji, a także nie oddziałują na nie w zasadniczy sposób inne czynniki, równanie (12) posiada wszystkie współczynniki dodatnie.

Parametr A jest ujemny, gdy ciśnienie gazu jest zbyt małe, by gaz mógł samoczynnie wypływać.

Ujemną wartość parametru C otrzymuje się w przypadkach, gdy współczynnik filtracji gazu przez skały zwiększa się.



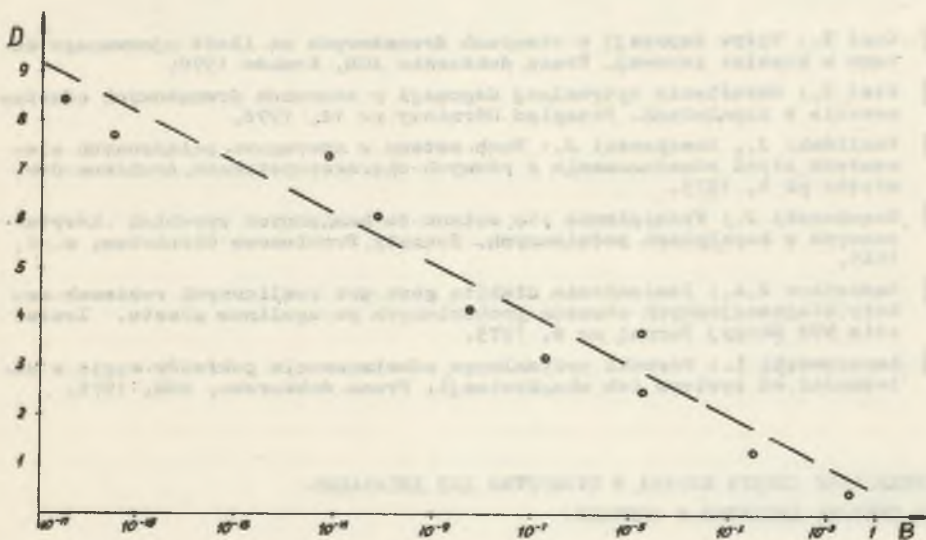
Rys. 5. Zależność między parametrem C i ilością otworów

Daje się również zauważyć związek między wartością parametru C a ilością otworów wierconych z jednej wnęki. Jego wartość wzrasta wraz z ilością otworów (rys. 5). Duży rozrzut punktów może być spowodowany wpływem takich czynników, jak długość otworów, ich przestrzenny układ oraz zawodnienie warstw skalnych.

Parametr B posiada wartość ujemną tylko wtedy, gdy obserwuje się pogorszenie własności filtracyjnych i jednocześnie wzrost depresji w czasie.

Wykładnik potęgowy D był zawsze dodatni, przyjmował prawie we wszystkich przypadkach wartość powyżej jedności. W jednym przypadku jest on mniejszy od jedności (wnęka 10).

Z rys. 6 wynika, że istnieje dość ścisła zależność między parametrami D i B. Im większa jest wartość B, tym mniejsza wartość D. Zależność posiada charakter krzywej logarytmicznej.



Rys. 6. Zależność między parametrem D oraz bezwzględną wartością parametru B

Wnioski

Wykonane obliczenia oraz ich analiza pozwalają wysnuć następujące wnioski:

1. Funkcja $Q = (A + B \cdot P^D) e^{-Ct}$ dobrze koreluje z danymi pomiarowymi.
2. W górotworze o stałych warunkach filtracji wszystkie parametry funkcji są dodatnie.

3. W zależności od ciśnienia gazu w złożu wartość A zmienia się i maleje z jego spadkiem. Parametr A może przyjmować wartości ujemne.
4. Jeżeli A jest dodatnie i z biegiem czasu warunki filtracji poprawiają się, to parametr C posiada wartość ujemną. W pozostałych przypadkach dodatnią.
5. Istnieje współzależność między parametrami B i D . Ze wzrostem B maleje wartość D . Krzywa posiada charakter funkcji logarytmicznej.
6. Rys. 5 sugeruje, że można szukać związku między ilością otworów i wielkością parametru C .
7. Uściślenie otrzymanych zależności można otrzymać po przeprowadzeniu dalszych obliczeń.

LITERATURA

- [1] Ciał Z.: Wpływ depresji w otworach drenażowych na ilość ujmowanego metanu w kopalni gazowej. Praca doktorska AGH, Kraków 1976.
- [2] Ciał Z.: Określenie optymalnej depresji w otworach drenażowych odmetanowania w kopalniach. Przegląd Górniczy nr 12, 1976.
- [3] Pawliński J., Roszkowski J.: Ruch metanu w szeregowo połączonych elementach sieci odmetanowania o różnych charakterystykach. Archiwum Górnictwa nr 4, 1975.
- [4] Roszkowski J.: Wydzielanie się metanu do kamiennych wyrobisk korytarzowych w kopalniach podziemnych. Zeszyty Problemowe Górnictwa, z. 1, 1969.
- [5] Sadczykov W.A.: Изменение дебита газа при различных режимах работы дегазационных скважин пробуренных по угoliniю пласту. Известия ВУЗ Горный Журнал nr 9, 1975.
- [6] Lunarzewski L.: Warunki optymalnego odmetanowania pokładów węgla w zależności od systemu ich eksploatacji. Praca doktorska, AGH, 1976.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕБИТА МЕТАНА В ОТВЕРСТИЯ ДЛЯ ДЕГАЗАЦИИ КАК ФУНКЦИЯ ДЕПРЕССИИ И ВРЕМЕНИ

Р е з ю м е

В статье предлагается формула для вычисления дебита метана в отверстия дегазации. На основе данных находящихся в книгах дегазации произведено вычисления параметров предлагаемой функции, а также произведено интерпретации полученных результатов. Указано на зависимость между значениями параметров функции.

DEFINING METHANE DISCHARGES FOR GAS FREEING PORTS AS A DEPRESSION AND TIME FUNCTION

S u m m a r y

A Formula has been suggested to determine gas discharges in ports. Basing on Gas Freeing Logs parameters for the suggested function have been calculated and the results interpreted. Interdependencies of the function parameter values were indicated.