

JERZY GRZYCHOWSKI

Katedra Pomp i Silników Wodnych

ANALIZA PRACY LEWAROWEGO DOZOWNIKA CIECZY

Streszczenie. W pracy omówiono sposób dozowania cieczy za pomocą układu złożonego ze zbiornika i przewodu lewarowego. Układ ten zwany w dalszej części pracy lewarowym dozownikiem cieczy umożliwia dawkowanie określonej ilości cieczy w sposób okresowy.

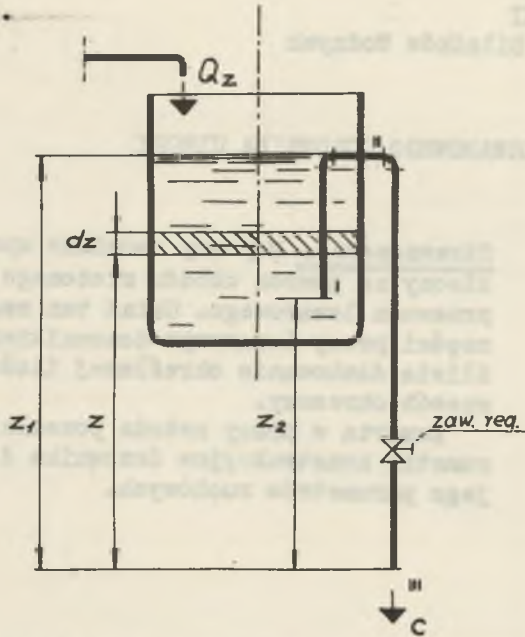
Zawarta w pracy metoda pozwala wyznaczyć parametry konstrukcyjne dozownika dla wymaganych jego parametrów ruchowych.

1. Wstęp

Hydraulicznym odpowiednikiem generatora napięć piłokształtnych jest w pewnym sensie układ złożony ze zbiornika i przewodu lewarowego (rys. 1). Układ ten znajduje zastosowanie między innymi w przemyśle chemicznym w przypadkach, w których istnieje zapotrzebowanie na określoną ilość cieczy, dozowaną w sposób okresowy.

W pracy urządzenia, zwanego w dalszej części artykułu lewarowym dozownikiem cieczy, można wyróżnić dwa okresy. Pierwszy okres obejmuje czas konieczny do napełnienia zbiornika cieczą. W trakcie tego okresu następuje stopniowe wypełnienie cieczą gałęzi lewara znajdującej się w zbiorniku. Ciecz po osiągnięciu szczytowego punktu przewodu lewara, opada pod wpływem siły ciężkości i wypełnia pozostałą gałąź lewara. W wyniku powstania niezrównoważonych słupów cieczy, rozpoczyna się praca lewara i jego działanie ssące.

Jest to drugi okres pracy dozownika. Warunkiem niezbędnym pracy układu jako okresowego dozownika cieczy jest to, aby ilość cieczy



Rys. 1. Model lewarowego dozownika cieczy

zasilającej zbiornik dozownika była mniejsza od wydajności lewara w momencie przzerwania jego pracy. Warunek ten można wyrazić następującą nierównością:

$$q_z < q_2 \quad (1)$$

gdzie:

$Q_z \frac{m^3}{s}$ - ilość cieczy zasilającej zbiornik dozownika,

$Q_2 \frac{m^3}{s}$ - wydajność lewarowego dozownika cieczy odpowiadająca poziomowi z_2 (rys. 1).

2. Charakterystyka lewarowego dozownika cieczy

Podstawowym parametrem dozownika zmiennym w czasie jest jego wydajność Q . Wydajność chwilowa dozownika określona jest wartością prędkości cieczy w przewodzie lewarowym dla określonego przekroju poprzecznego przewodu lewarowego i określonego momentu czasowego. Charakterystykę lewarowego dozownika cieczy można więc nazwać funkcją $c = f(t)$. Obraz graficzny charakterystyki można uzyskać wyznaczając funkcję $t = f(c)$.

Dla uproszczenia obliczeń założono, że model dozownika (rys. 1) składa się ze zbiornika o stałym przekroju poprzecznym oraz że jest zasilany w sposób ciągły cieczą (Q_z), przy czym zachowany zostaje warunek określony wzorem (1), a stosunek średnicy zbiornika do średnicy przewodu lewarowego jest duży.

Korzystając z równania D. Bernoulliego [1] dla cieczy rzeczywistej i rozpatrując cząstkę cieczy znajdującą się na poziomie cieczy w zbiorniku a następnie w momencie jej wypływu z przewodu lewarowego, otrzymuje się zależność prędkości c w funkcji współrzędnych jej położenia z . Pomijając w rozważaniach prędkość opadania zwierciadła cieczy w zbiorniku, jako wielkość stosunkowo małą w porównaniu z prędkością jaką posiada cząstka cieczy opuszczająca przewód lewarowy oraz uwzględniając fakt, że zarówno zwierciadło cieczy w zbiorniku jak i wypływ z lewara znajdują się pod działaniem identycznego ciśnienia, równanie D. Bernoulliego można napisać w następującej postaci:

$$z = \frac{c^2}{2 \cdot g} + \sum''' \Delta h_B \quad (2)$$

gdzie:

z m - współrzędna pionowa, mierzona od punktu na wypływie z przewodu lewarowego,

g $\frac{m}{s^2}$ - współczynnik przyspieszenia siły ciężkości,

$\sum_I \Delta h_g$ m - suma strat energetycznych przepływu cieczy przez przewód lewarowy, wyrażona w metrach.

Dodatkowe równanie można uzyskać, korzystając z równania ciągłości dla osi z skierowanej pionowo w górę:

$$Q_z \cdot dt + f_z (-d_z) = o \cdot f \cdot dt \quad (3)$$

gdzie:

f_z m^2 - przekrój poprzeczny zbiornika,

f m^2 - przekrój poprzeczny przewodu lewarowego,

o $\frac{m}{s}$ - prędkość cieczy w przewodzie lewarowym odpowiadająca wydajności Q .

Suma strat wyraża się następującym wzorem:

$$\sum_I \Delta h_g = \zeta \cdot \frac{c^2}{2 \cdot g} \quad (4)$$

gdzie:

ζ - bezwymiarowy współczynnik strat, uwzględniający straty na dopływie, długości przewodu lewarowego i zaworze, ewentualnie na wypływie.

Podstawiając równanie (2) do równania (3) i uwzględniając zależność:

$$k = 1 + \zeta \quad (5)$$

otrzymuje się równanie różniczkowe, opisujące pracę lewarowego dozownika cieczy w okresie opróżniania zbiornika, w następującej postaci:

$$dt = - \frac{f_z \cdot k}{g} \cdot \frac{c}{c \cdot f - Q_z} \cdot dc \quad (6)$$

Całkując równanie (6) w granicach od chwili początkowej $t_0 = 0$ do wartości t , otrzymuje się funkcję następującej postaci:

$$t = \frac{f_z}{f} \cdot \frac{k}{g} \left[(c_1 - c) + \frac{Q_z}{f} \ln (c_1 \cdot f - Q_z) - \frac{Q_z}{f} \ln (c \cdot f - Q_z) \right] \quad (7)$$

Obraz graficzny funkcji (7) przedstawiono na rys. 2, jest to krzywa o przebiegu asymptotycznym.

Asymptota tej krzywej odpowiada wartości prędkości granicznej określonej z następującego wzoru:

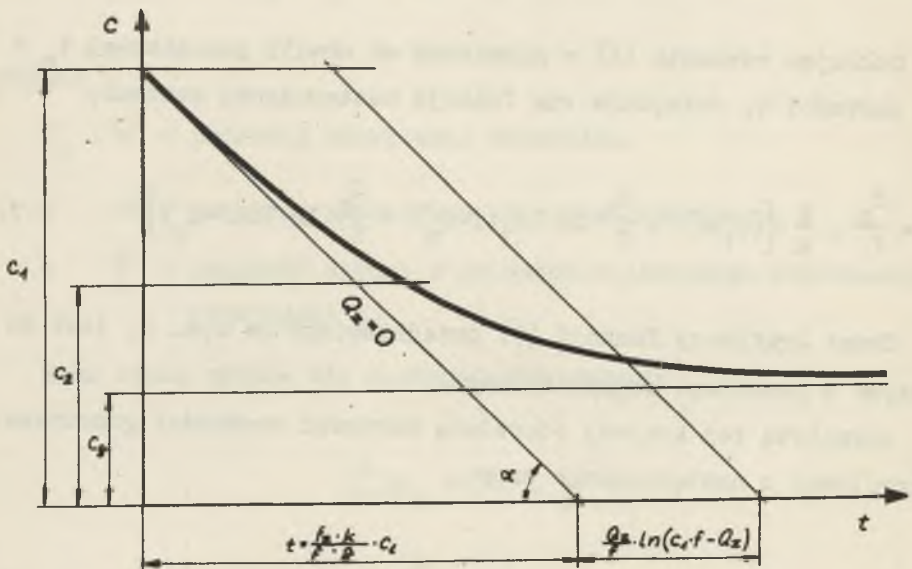
$$c_g = \frac{Q_z}{f} \quad (8)$$

Z warunku (1) wynika również warunek dla prędkości cieczy w przewodzie lewarowym, prędkość c_2 musi być większa od prędkości

c_g :

$$c_g < c_2 \quad (1a)$$

Największą wartość prędkości w przewodzie lewarowym otrzymuje się dla chwili $t_0 = 0$ tzn. chwili rozpoczęcia pracy przez lewar. W tym momencie poziom cieczy osiąga najwyższy punkt przewodu lewarowego (poziom z_1 na rys. 1). Zamianie na energię kinetyczną cząsteczki cieczy ulega największy dysponowany spadek wysokości. W czasie pracy dozownika poziom cieczy opada i w końcowym punkcie osiąga poziom na dopływie do przewodu lewarowego (poziom z_2 na rys. 1). Poziomowi z_2 odpowiada najmniejsza prędkość wypływu z lewara występująca w czasie jego pracy, prędkość ta powinna spełniać warunek (1a).



Rys. 2. Częściowa charakterystyka lewarowego dozownika cieczy

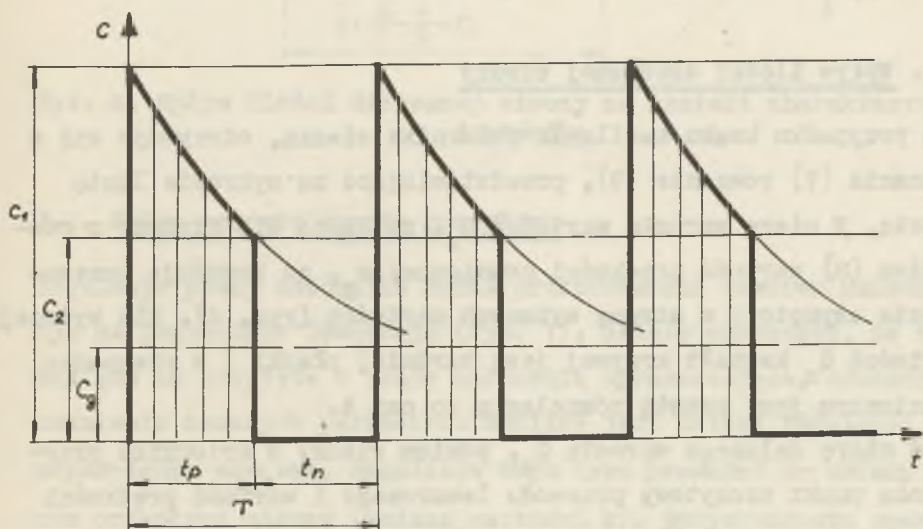
Dla przypadku braku zasilania $Q_z = 0$, funkcja $c = f(t)$ ma kształt prostej o równaniu:

$$c = c_1 - \frac{f}{f_z} \cdot \frac{g}{k} \cdot t, \quad (9)$$

której kąt nachylenia α uzależniony jest od parametrów konstrukcyjno-ruchowych i związany z nimi następującym warunkiem:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{f}{f_z} \cdot \frac{g}{k} \quad (10)$$

Pełny wykres pracy lewarowego dozownika cieczy podano na rys. 3.



Rys. 3. Wykres pracy lewarowego dozownika cieczy

Na wykresie pracy dozownika można wyróżnić charakterystyczne przedziały czasowe. Całkowity cykl pracy dozownika dzieli się na okresy t_p oraz t_n . W okresie czasu t_n następuje wyłącznie napełnianie zbiornika, natomiast w czasie okresu t_p przez przewód lewarowy płynie ciecz i zbiornik jest stopniowo opróżniany przy równoczesnym dalszym dopływie cieczy do zbiornika.

3. Wpływ parametrów konstrukcyjno-ruchowych na kształt charakterystyki

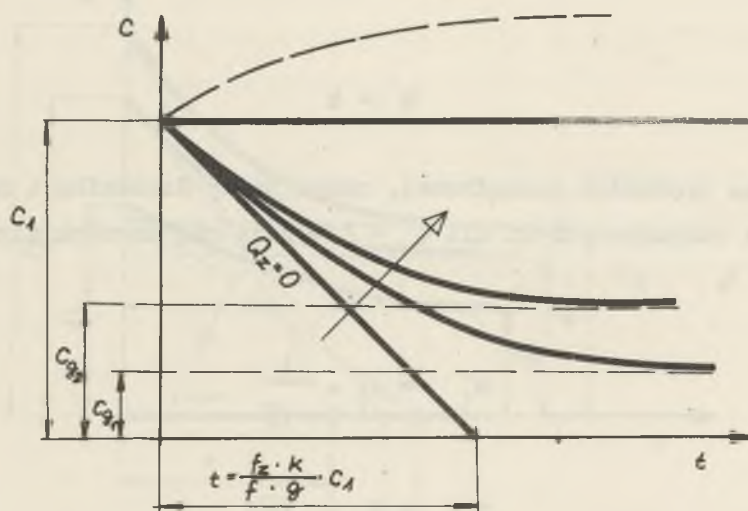
Wykorzystując równanie (7) można określić wpływ niektórych parametrów na kształt charakterystyki. Ze względu na identyczny kształt charakterystyki w kolejnych cyklach pracy T , rozważania ograniczono do jednego okresu t_p .

3.1. Wpływ ilości dozowanej cieczy

Dla przypadku braku zasilania zbiornika cieczą, otrzymuje się z równania (7) równanie (9), przedstawiające na wykresie linię prostą. W miarę wzrostu wartości Q_z , zwiększa się zgodnie z równaniem (8) wartość prędkości granicznej c_g , co powoduje przesunięcie asymptoty w stronę wyższych wartości (rys. 4). Dla wyższej wartości Q_z kształt krzywej jest bardziej płaski i w przypadku granicznym jest prostą równoległą do osi t .

W miarę dalszego wzrostu Q_z , poziom cieczy w zbiorniku przekracza punkt szczytowy przewodu lewarowego i wartość prędkości cieczy w przewodzie lewarowym przekracza wartość c_1 (krzywa przerywana na rys. 4). Interesujący nas obszar pracy znajduje się poniżej granicznej wielkości c_1 , bowiem powyżej układ przedstawia działac jako dozownik okresowy i można go zastąpić bezpośrednio regulowanym przepływem Q_z .

Ilość dozowanej cieczy można regulować ilością cieczy zasila-
jącej zbiornik dozownika. Ponadto zmiana wielkości Q_z pozwala na
ustalenie podziału czasu T na okresy t_p oraz t_n .



Rys. 4. Wpływ ilości dozowanej cieczy na kształt charakterystyki dozownika

3.2. Wpływ wzrostu oporów przepływu

Regulację pracy dozownika można przeprowadzić zaworem umieszczonym na przewodzie lewarowym (rys. 1). Należy zaznaczyć, że ze względu na przyjęte w pracy założenia upraszczające, dokładne ustalenie żądanych parametrów możliwe jest dzięki regulacji wspomnianym zaworem. Regulacja tego typu prowadzi do zmiany oporów przepływu cieczy (zmiana wartości k). Wpływ wzrostu oporów przepływu najlepiej rozpatrzyć dla charakterystyki odpowiadającej $Q_z = 0$.

Jeżeli przez p oznaczony zostanie stosunek wzrostu oporów:

$$p = \frac{k'}{k} \quad (11)$$

gdzie:

$$k' > k \quad (12)$$

to zmiana prędkości początkowej, czasu pracy dozownika i kąta nachylenia charakterystyki dla $Q_z = 0$ wyraża się następującymi wzorami:

$$c'_1 = c_1 \cdot \frac{1}{\sqrt{p}} \quad (13)$$

$$t'_p = t_p \cdot \sqrt{p} \quad (14)$$

$$\operatorname{tg} \alpha' = \operatorname{tg} \cdot p \quad (15)$$

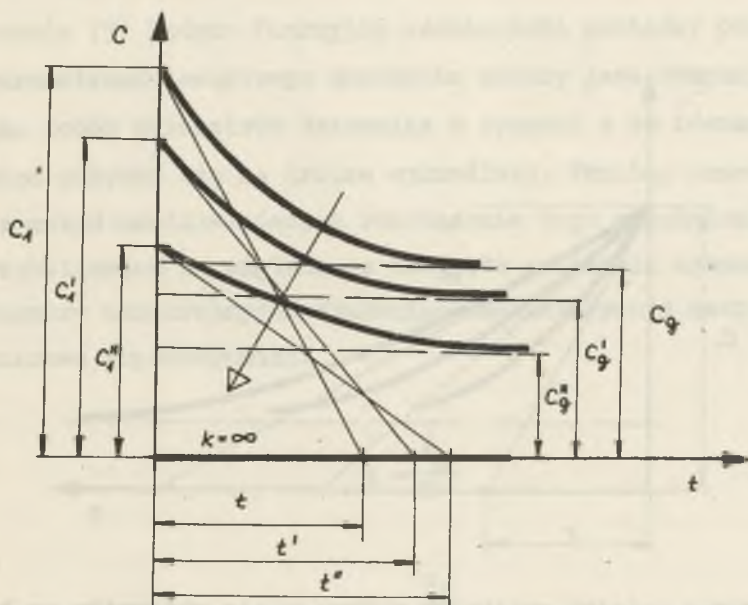
gdzie:

indeks górny oznacza wartości odpowiadające pewnemu stanowi po przymknięciu zaworu.

Korzystając z powyższych rozważań, można przedstawić na wykresie (rys. 5) zmiany wynikające ze wzrostu oporów w pracy dozownika. Wartości c_g , określające proste będące asymptotami dla różnych wartości współczynnika oporu, również zmieniają swoje wartości zgodnie z równaniem (13).

Regulacja zaworem umożliwiła zmianę podziału przedziału czasowego T na dwa okresy t_n oraz t_p . Zmianie ulega również wartość

przedziału czasowego T . Należy zwrócić uwagę, że regulacja zaworowa zmienia również masę jednej dawki i ze wzrostem częstotliwości dawek maleje objętość jednorazowej dawki.

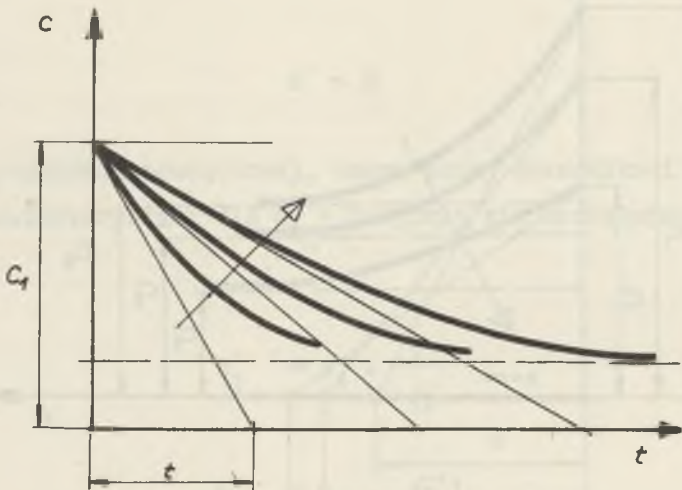


Rys. 5. Wpływ wzrostu oporów na kształt charakterystyki dozownika

3.3. Wpływ objętości zbiornika

Na pracę dozownika mają wpływ również wielkości konstrukcyjne. Jedną z ważnych wielkości konstrukcyjnych jest objętość zbiornika. Dla przyjętego przewodu lewarowego, a w szczególności stosunku $\frac{z_2}{z_1}$, wpływ objętości zbiornika można rozpatrywać biorąc pod uwagę jego przekrój poprzeczny f_z . Wzrost przekroju poprzecznego zbiornika powoduje wzrost czasu t_p . Ponieważ wzrost ten nie ma wpływu na wartość prędkości granicznej c_g , krzywe będące obrazem charakterystyki dozownika będą zbliżały się asymptotycznie do tej samej asymptoty i w miarę wzrostu przekroju poprzecznego zbiornika

kształt ich będzie bardziej płaski. Graficzny obraz zmian jakie można otrzymać w wyniku odpowiedniego doboru wartości f_z przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Wpływ wzrostu przekroju poprzecznego zbiornika na kształt charakterystyki

Zmiana samej tylko wielkości f_z nie wpływa na zmianę stosunku podziału czasu T na dwa okresy. Wynika to z faktu, że w stosunku czasu pracy do czasu napełniania wielkość f_z nie występuje. Czas napełniania zbiornika wyraża wzór:

$$t_n = \frac{f_z (z_1 - z_2)}{Q_z} \quad (16)$$

Wielkością objętości zbiornika w połączeniu ze zmianą Q_z można ustalać wielkość T .

4. Wyznaczenie wielkości konstrukcyjnych dozownika

Zagadnienie określenia wielkości konstrukcyjno-ruchowych lewarowego dozownika cieczy dla zadanych jego parametrów pracy jest zagadnieniem trudnym.

Równanie (7) będące funkcyjną zależnością pomiędzy podstawowymi parametrami lewarowego dozownika cieczy jest równaniem przestępnym. Dobór parametrów dozownika w oparciu o to równanie powinien więc odbywać się na drodze wykresłnej. Poniżej przedstawiono jedną z metod umożliwiających rozwiązanie tego zagadnienia z pewnym przybliżeniem ze względu na przyjęte założenia upraszczające.

Parametry konstrukcyjne dozownika charakteryzują następujące bezwymiarowe współczynniki:

$$A = \frac{f \cdot z_2}{f} \quad (17)$$

$$B = \frac{z_2}{z_1} \quad (18)$$

Ponadto ważnym współczynnikiem, charakteryzującym pracę lewara, jest następujący stosunek:

$$C = \frac{t}{t_n} \quad (19)$$

Wprowadzając do równania (7) określone powyżej współczynniki (17) i (18) oraz wykorzystując równanie:

$$z_1 = \frac{Q_z \cdot t_n}{f_z (1-B)} \quad (16a)$$

wynikające z równania (16), otrzymujemy:

$$t_p = A \frac{k}{g} \left[(1-B) \sqrt{\frac{2g}{k} z_1} + \frac{Q_z}{f} \ln \frac{f - \frac{Q_z}{\sqrt{\frac{2g}{k} z_1}}}{\sqrt{Bf} - \frac{Q_z}{\sqrt{\frac{2g}{k} z_1}}} \right] \quad (7a)$$

Równanie (7a) pozwala na uzyskanie zależności funkcyjnej $Q_z = f(t_p)$ przedstawionej na rys. 7 dla przyjętych stałych wartości pozostałych parametrów.

Wykres (rys. 7) umożliwia dobór wielkości konstrukcyjnych dozownika dla zadanych jego parametrów pracy i powinien być wykonywany każdorazowo dla wymaganych zakresów parametrów. Jako zmienne można przyjąć wielkości które w danym momencie są najbardziej interesujące.

Przykładowy wykres funkcji $Q_z = f(t_p)$ (rys. 7) został wykonany dla następujących zakresów parametrów:

$$Q_z = 0.0001 - 0.001 \frac{m^3}{s}$$

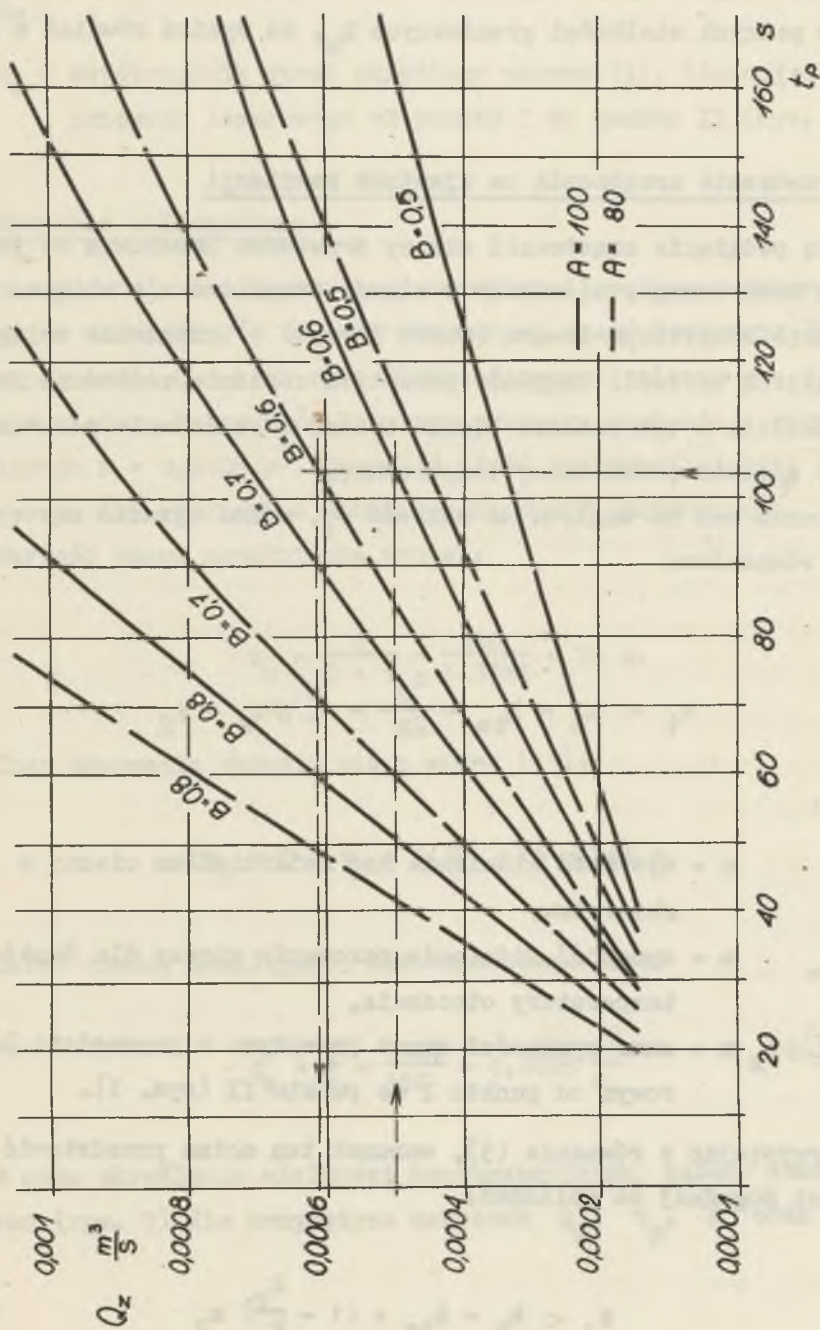
$$A = 100, \quad 80$$

$$B = 0,5, \quad 0,6, \quad 0,7, \quad 0,8$$

$$t_n = 90 \text{ s}$$

$$f = 0.0005 \text{ m}^2$$

$$\frac{k}{g} \approx 1$$



Rys. 7. Wykres funkcji $Q_z = f(t_p)$

Z przebiegu krzywych wynika, że zbliżają się one asymptotycznie do pewnych wielkości granicznych Q_z , co wynika również z równania (1).

5. Sprawdzenie urządzenia na zjawisko kawitacji

W miarę podążania cząsteczki cieczy przewodem lewarowym do jego punktu szczytowego, ciśnienie w cieczy stopniowo się obniża. W punkcie szczytowym lewara (punkt II rys. 1) ciśnienie osiąga najmniejszą wartość. Ciągłość przepływu zostanie zachowana jeżeli ciśnienie w tym punkcie będzie wyższe od ciśnienia parowania cieczy dozowanej dla danej temperatury.

Warunek ten ze względu na wartość z_1 , można wyrazić następującym równaniem:

$$z_1 < h_b - h_{te} - \frac{c_2^2}{2g} - \sum_I \Delta h_s + z_2 \quad (20)$$

gdzie:

h_b m - wysokość ciśnienia nad zwierciadłem cieczy w zbiorniku,

h_{te} m - wysokość ciśnienia parowania cieczy dla danej temperatury otoczenia,

$\sum_I \Delta h_s$ m - suma wysokości strat przepływu w przewodzie lewarowym od punktu I do punktu II (rys. 1).

Korzystając z równania (5), warunek ten można przedstawić w postaci dogodnej do obliczeń:

$$z_1 < h_b - h_{te} + \left(1 - \frac{k}{k'}\right) z_2 \quad (20a)$$

gdzie:

k_0 - współczynnik strat określony wzorem (5), liczony dla przewodu lewarowego od punktu I do punktu II (rys. 1).

6. Przykład obliczeniowy

Wyznaczyć wielkości konstrukcyjno-ruchowe lewarowego dozownika cieczy o zakresie $T = 180$ s i stosunkowi czasu dozowania do czasu napełniania $C = 1,37$ oraz ilości dozowanej cieczy $q = 0,09$ m³, jeżeli wiadomo że przewód lewarowy wykonany zostanie z rury o przekroju $f = 0,0005$ m². Określić ilość dozowanej cieczy, jeżeli zastosuje się zbiornik o mniejszym przekroju poprzecznym.

Wartość czasu napełniania wynosi:

$$t_n = \frac{T}{C + 1} = \frac{180}{1,37+1} = 76 \text{ s.}$$

Czas dozowania określa się z wzoru (19):

$$t_p = C \cdot t_n = 1,37 \cdot 76 = 104 \text{ s.}$$

Ilość cieczy zasilającej zbiornik równa jest:

$$Q_z = \frac{q}{T} = \frac{0,09}{180} = 0,0005 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

W celu określenia wielkości konstrukcyjnych, należy zbudować wykres (rys. 7) dla przyjętych zakresów Q_z , t_p , B oraz A.

Z wykresu rys. 7, dla $Q_z = 0,0005 \text{ m}^3/\text{s}$ oraz $t_p = 104 \text{ s}$, otrzymuje się:

$$A = 100$$

$$B = 0,6$$

stąd przekrój poprzeczny zbiornika wyniesie z wzoru 17:

$$f_z = f \cdot A = 0,0005 \cdot 100 = 0,05 \text{ m}^2$$

Długości ramion wynoszą odpowiednio:

$$l_1 = z_1 = \frac{Q_z \cdot t_n}{f \cdot (1-B)} = \frac{0,0005 \cdot 76}{0,05 (1-0,6)} = 1,9 \text{ m}$$

$$l_2 = z_1 - z_2 = z_1 (1-B) = 1,9 (1-0,6) = 0,76 \text{ m}$$

Na wykresie (rys. 7) przyjęto wartość stosunku $\frac{k}{g} \approx 1$, stąd wyregulowanie układu nastąpi za pomocą zaworu regulacyjnego umieszczonego na przewodzie lewarowym (rys. 1).

Stosując zbiornik o mniejszym przekroju poprzecznym (przykładowo $A = 80$), otrzymujemy z wykresu rys. 7 dla $B = 0,6$ i zachowanego czasu dozowania $t_p = 104 \text{ s}$:

$$Q_z = 0,00061 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Wartość przedziału czasowego T wynosi:

$$T = t_p + t_n = 104 + 76 = 180 \text{ s},$$

stąd ilość dozowanej cieczy:

$$q = Q_z \cdot T = 0,00061 \cdot 180 = 0,11 \text{ m}^3.$$

Zastosowanie zbiornika o mniejszym przekroju poprzecznym, przy zachowaniu pozostałych parametrów niezmiennych, powoduje wzrost ilości dozowanej cieczy.

Lewarowy dozownik cieczy jest jednym z najprostszymi urządzeń umożliwiającymi dawkowanie cieczy w sposób okresowy.

Ze względu jednak na konieczność przyjęcia założeń upraszczających dokładne wyznaczenie koniecznych wielkości konstrukcyjno-ruchowych, jest trudne do zrealizowania. Ponadto w praktyce wykres lewarowego dozownika cieczy będzie nieco odbiegał od wykresu teoretycznego przedstawionego na rys. 3, nie będzie on bowiem posiadał tak ostrych zakamów. Korekcję pracy można uzyskać, stosując na przewodzie lewarowym zawór regulacyjny. Poza tym należałoby sobie również zapewnić możliwość zmiany jednej z wielkości konstrukcyjnych np. B.

LITERATURA

- [1] TROSKOLAŃSKI T.: Hydromechanika. NT, Warszawa 1962 r.

АНАЛИЗ РАБОТЫ СИФОННОГО ДОЗАТОРА ЖИДКОСТИ**Резюме**

В статье рассмотрено работу сифонного дозатора жидкости. Подано метод вычисления конструкционных величин в зависимости от параметров работы. Приведено численный пример.

ANALYSIS OF WORKING OF THE SIPHON OVERFALL AS A BATCHER**S u m m a r y**

The paper presents the results of study on the application of the siphon overfall to dose a liquid. This arrangement makes possible dosing of a liquid periodically and has application in the chemical industry. In the present paper a method is given which provides the constructional parameters for its motion parameters required.