ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1985
Seria : AUTOMATYKA z. 79 Nr kol. 848

Marek OLESIAK
Instytut Cybernetyki Technicznej
Politechnika Wrocławska

AGREGACJA ZŁOŻONYCH SIECI WODOCIĄGOWYCH DLA POTRZEB STEROWANIA W SYSTEMACH ZAOPATRZENIA W WODĘ

Streszczenie

W pracy przedstawiono nową metodę agregacji sieci wodociągowych. Ideą tej metody jest zastąpienie oryginalnej sieci układem prostszym nie zawierającym zamkniętych konturów. W przeciwieństwie do innych znanych w literaturze metod agregacji metoda ta wykorzystuje pewne istotne własności systemu wodociągowego. W szczególności zapewnia ona bowiem zgodność asymptotycznych charakterystyk systemu oryginalnego i zagregowanego. Pozwala to uzyskać szczególnie dobrą jakość aproksymacji dla dużej wartości poborów wody przez odbiorców. Metoda ta może być więc szczególnie użyteczna dla większości realnie funkcjonujących systemów pracujących w stanie znacznego obciążenia.

1. WSTĘP

Celem sterowania systemem zaopatrzenia w wodę odbiorców [2],[3] jest zaspokojenie potrzeb na wodę w dłuższym horyzoncie czasu (co najmniej równym 1 dobie). Cel ten powinien być realizowany tak, aby jednocześnie minimalizować koszty funkcjonowania systemu. Typowy system zaopatrzenia w wodę składa się z pewnej ilości źródeł wody, które nazywać będziemy w dalszym ciągu pompowniami oraz sieci wodociągowej, za pośrednictwem której woda transportowana jest do odbiorców. Istotnym elementem systemu są zbiorniki sieciowe, w których gromadzone mogą być zapasy wody. W przeciwieństwie do typowych modeli znanych w teorii sterowania zapasami [4] występuje tutaj ścisły związek pomiędzy poziomami wody w zbiornikach a przepływami w sieci wodociągowej. Nie jest więc tu możliwe wydzielenie z całego systemu zbiorników. Wzajemne interakcje pomiędzy siecią a zbiornikami wiążą się także z oceną kosztów funkcjonowania systemu. Koszt ten jest bowiem funkcją ilości pracujących pomp, parametrów sieci i wartości przepływów. Zależy więc on pośrednio od poziomu wody w zbiornikach.

Metody sterowania dla sieci wodociągowych współpracujących ze zbiornikami nie mogą więc odrzucać istnienia tych interakcji, co uniemożliwia zastosowanie typowych metod teorii magazynowania.

Z drugiej strony opracowanie algorytmu sterowania w dłuższym horyzoncie czasu z uwzględnieniem pełnej analizy hydraulicznej sieci w bar-

dziej złożonych systemach jest niemożliwe z powodu trudności obliczeniowych. Naturalną drogą pokonania tych trudności jest uproszczenie struktury sieci wodociągowej. Podejście takie prezentowane było wielokrotnie w literaturze. Metody te korzystały z intuicyjnego założenia prowadzącego do pozostawiania w sieci tylko najważniejszych połączeń. Podejmowane były także próby optymalnego podejścia do tego zagadnienia [1].

Metoda prezentowana w tej pracy wykorzystuje nową ideę polegającą na uzyskaniu pełnej zgodności wybranych charakterystyk asymptotycznych sieci oryginalnej i uproszczonej. Charakterystyki te omówione będą w następnym punkcie.

Zasadnicza idea agregacji prezentowana w tej pracy polega na zastąpieniu systemu złożonego systemem prostszym spełniającym następujące warunki:

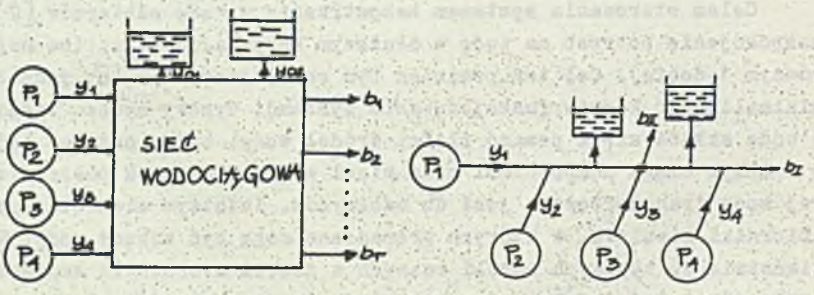
a) system zagregowany zawiera tę samą liczbę zespołów pompowych o tych samych charakterystykach i parametrach,

b) ilość i rodzaj zbiorników sieciowych w systemie oryginalnym i zagregowanym jest taka sama,

c) w systemie zagregowanym występuje znacznie mniejsza ilość odbiorców skoncentrowana w wyróżnionych punktach sieci,

d) system zagregowany zawiera bardzo niewielką liczbę konturów lub wcale ich nie zawiera,

e) asymptotyczne relacje między wyróżnionymi przepływami a poborem wody u odbiorców są takie same w systemie oryginalnym i zagregowanym.



Rys. 1.1. Przykład agregacji systemu wodociągowego z dwoma zbiornikami i czterema pompowniami

2. SFORMUŁOWANIE WARUNKÓW AGREGATYZACJI

Osiągnięcie pełnej zgodności systemu oryginalnego i zagregowanego jest oczywiście zadaniem nierealnym. Osiągnięcie zadowalającego wyniku wiąże się z koniecznością sformułowania pewnych warunków określających

reżim pracy systemu, dla którego przeprowadzona będzie aproksymacja.

Ze względu na fakt, że celem budowy modelu zagregowanego jest wykorzystanie go na wyższym poziomie sterowania [2],[3], należy przyjąć, że powinien on aproksymować rozpatrywany system w optymalnym reżimie pracy. Oznacza to konieczność analizy systemu sterowanego tak, by minimalizować straty energetyczne ponoszone w zespołach pompowych. Tak określony reżim pracy stwarza poważne trudności obliczeniowe [2]. Powoduje to także zależność uzyskiwanych wyników od charakterystyk zespołów pompowych.

Wydaje się w związku z tym bardziej celowe sformułowanie warunków określających optymalny reżim pracy systemu w sposób prostszy i niezależny od rodzaju i ilości pomp zainstalowanych w zespołach pompowych.

Założenia takie spełnia zadanie minimalizacji strat energetycznych wyłącznie w sieci, bez uwzględnienia strat ponoszonych w zespołach pompowych oraz energii przekazywanej odbiorcom. Zadanie takie sformułowane było w pracy [2],[5]. Ma ono następującą postać:

$$\min \sum_{i=1}^{n} (k_i |y_i|^3 + d_i y_i) \tag{2.1}$$

$$Ay = b \tag{2.2}$$

$$y_i \geqslant 0 \quad \text{dla} \quad i \in S \tag{2.3}$$

gdzie: y_i - przepływy,
k_i - opory hydrauliczne,
d_i - różnice wysokości geodezyjnych,
n - ilość łuków w sieci,
A - macierz incydencji,
b - wektor poborów wody przez odbiorców,
S - zbiór indeksów odpowiadających przepływom ze źródeł.

Zadanie powyższe posiada pewne interesujące własności, które wykorzystane będą dla potrzeb agregatyzacji:

1. Aczkolwiek w zadaniu tym występują tylko ograniczenia wynikające z prawa zachowania przepływu (I prawo Kirchhoffa), można pokazać [2], że przepływy optymalne spełniają analog II prawa Kirchhoffa, które może być zapisane w następującej postaci:

$$B \cdot f(\bar{y}) = \theta \tag{2.4}$$

gdzie: B - macierz incydencji konturów zamkniętych w sieci

$$f(\bar{y}) = \left[k_i y_i^2 \operatorname{sgn} y_i,\ i=1,2,\ldots,n\right] \tag{2.5}$$

2. Różnica ciśnień pomiędzy dwoma dowolnymi źródłami wody jest stała i zależna wyłącznie od różnicy wysokości geodezyjnej pomiędzy odpowiednimi węzłami [2],[6].

$$\forall i,j \in S \quad y_i \neq 0,\ y_j \neq 0 \qquad p_i - p_j = \frac{2}{3}(d_i - d_j) \tag{2.6}$$

Warunek ten można zapisać w postaci:

$$B_1 \cdot f(\bar{y}) = \frac{2}{3}\Delta, \quad \Delta = \left[d_i - d_j;\ i=1,2,\ldots,n;\ i \neq j\right] \tag{2.7}$$

gdzie:

B_1 - macierz incydencji ścieżek łączących poszczególne źródła ze sobą,

$\bar{d}$ - wektor różnic wysokości geodezyjnych.

Jeśli w systemie znajduje się p-pompowni, macierz B_1 ma wymiary $(p-1) \cdot n$.

3. Zadanie (2.1)-(2.3) posiada pewne interesujące własności asymptotyczne [3].

Jeśli pobory wody przez odbiorców mają postać :

$$b(t) = \bar{b} \cdot t, \tag{2.8}$$

to przy $t \to \infty$ wartości przepływów $y_i(t)$ będących rozwiązaniem zadania (2.1)-(2.3) mają asymptoty ukośne

$$\forall i \qquad \lim_{t \to \infty} \left(y_0(t) - a_i \leftrightarrow t\right) = 0 \tag{2.9}$$

Zauważmy, że w realnym systemie wodociągowym potrzeby odbiorców zwykle zmieniają się, jednakże wzajemne proporcje w ilości zużywanej wody są z góry ustalone i zależą od pewnych stałych parametrów, jak np. liczba ludności w określonym rejonie. Zmiany poborów wody zachodzą na ogół jednocześnie i związane są z ustalonym rytmem zapotrzebowania dobowego. Oznacza to, że zależność (2.7) ma swoje praktyczne uzasadnienie. Z własności tej wynika także, że dla sieci pracujących w znacznym obciążeniu poborami u odbiorców, zależność przepływów od sumarycznego poboru może być traktowana jako liniowa, jeśli sieć utrzymywana jest w optymalnym reżimie w sensie kryterium (2.1).

3. OPIS METODY

Procedurę budowy modelu zagregowanego można podzielić na dwa zasadnicze etapy. W pierwszym należy określić strukturę sieci zagregowanej, w drugim jego parametry hydrauliczne.

Strukturę sieci można wybrać w sposób jednoznaczny bądź też można określić pewną klasę struktur. Przeprowadzając dla każdej z nich identyfikacje parametrów hydraulicznych i oceniając jakość aproksymacji według ustalonego kryterium, można wybrać wariant najlepszy.

Zgodnie z wcześniejszymi uwagami zakładać będziemy, że w sieci zagregowanej występować będzie taka sama ilość źródeł, jak w sieci oryginalnej. W pierwszej fazie konstruowania modelu rozważana będzie sieć bez

zbiorników sieciowych. Osobnym problemem jest konieczność przeprowadzenia agregacji potrzeb odbiorców. Potrzeby te w sieci oryginalnej zdefiniowane są w następujący sposób:

$$\delta(t) = \bar{b} \cdot t \qquad \bar{b} = (\bar{b}_1, \bar{b}_2, \ldots, \bar{b}_r)^T \tag{3.1}$$

Skoncentrowane one są w r punktach sieci. Agregacja potrzeb odbiorców polegać będzie na skoncentrowaniu ich w znacznie mniejszej ilości punktów. W dalszym ciągu założymy, że sumaryczne pobory wody zlokalizowane będą w jednym punkcie sieci zagregowanej.

Problemem strukturalnym jest usytuowanie tego punktu w sieci, natomiast wartości zregowanego poboru wody można przedstawić wzorami:

$$b_s = \bar{b}_s \cdot t \qquad \bar{b}_s = \sum_{i=1}^{r} \bar{b}_i \tag{3.2}$$

Opis procedury wyznaczania parametrów hydraulicznych sieci rozpoczniemy od problemu wyznaczania wysokości geodezyjnej punktów, w których zlokalizowane są źródła wody. Wykorzystamy w tym celu podstawowy warunek określający optymalny reżim pracy sieci (2.6). Wynika z niego, że wysokości geodezyjne węzłów sieci zagregowanej powinny spełniać warunek:

$$\forall i,j = 1,2,\ldots,p \quad d_i^* - d_j^* = d_i - d_j \tag{3.3}$$

gdzie:

d_i^* - wysokość węzła i-tego w sieci zagregowanej,

d_i - wysokość odpowiedniego węzła sieci oryginalnej.

Wystarczający jest więc dobór wysokości jednego z węzłów zagregowanej sieci, aby pozostałe wysokości mogły być określone jednoznacznie. Dobór tego parametru zrealizowany może być poprzez porównanie ciśnień sieci oryginalnej i zagregowanej w pewnym ustalonym węźle sieci.

Dla określenia oporów hydraulicznych k_i, $i=1,\ldots,m$ występujących w sieci zagregowanej wykorzystamy opisane w poprzednim punkcie własności asymptotyczne. Postulować będziemy pełną zgodność charakterystyk asymptotycznych modelu oryginalnego i zagregowanego. Na tym etapie obliczeń zakładamy, że zbiorniki sieciowe wyłączone są z sieci.

Model matematyczny systemu zagregowanego ma wówczas postać:

$$B_1 \cdot f(y) = \frac{2}{3}\Delta \tag{3.4}$$

gdzie B_1 - macierz incydencji odpowiadająca fikcyjnym konturom sieci zagregowanej

$$B_1 = \left[b_{ij}^1\right]^{(p-1)\times m} \tag{3.5}$$

W dalszym ciągu dla prostoty opisu zakładać będziemy, że postulowana struktura sieci zagregowanej jest strukturą drzewiastą bez zamkniętych konturów. Nie zmniejsza to ogólności rozważań i w dalszym ciągu sygnalizowane będą pewne modyfikacje metody w przypadku ogólniejszym.

Wyróżnijmy wektor przepływów w łukach doprowadzających wodę ze źródeł - $\bar{y}_I = (y_1, y_2, \ldots, y_p)^T$. Można wówczas korzystając z równania zachowania przepływu uzyskać wektor y jako liniową kombinację przepływów $\bar{y}_I$ i poboru wody b_s. Pozwala to zapisać równanie (3.4) w postaci:

$$B_1 \quad f(\bar{y}_I, b_s) = \frac{2}{3}\Delta \tag{3.5}$$

lub

$$F(\bar{y}_I, b_s\ t)\ \vec{K} = \frac{2}{3}\Delta \tag{3.6}$$

gdzie:

$F(\bar{y}_I, b_s)$ jest macierzą o wymiarach (p-1)xm, zawiera ona jako elementy kwadraty przepływów,

$\bar{K} = (k_1, k_2, \ldots, k_m)^T$ - wektor oporów hydraulicznych,

$\Delta = (d_1 - d_j, d_2 - d_j, \ldots, d_p - d_j)^T$,

j - dowolnie wyróżniony węzeł sieci.

Żądać będziemy, aby rozwiązanie równania (3.6) miało asymptoty ukośne identyczne jak dla sieci oryginalnej.

Wydzielimy z wektora $\vec{a} = [a_1, a_2, \ldots, a_n]^T$ (2.9) określającego nachylenia asymptot współczynniki (odpowiadające występującym w równaniu (3.6) jedynie) przepływów ze źródeł

$$\lim_{t \to \infty} (\bar{y}_I(t) - a_I \cdot t) = \theta \tag{3.7}$$

Pamiętając, że macierz $F(\bar{y}_I, \bar{b}_s \cdot t)$ składa się z kwadratów przepływów, warunek (3.7) można osiągnąć dzieląc obustronnie równanie (3.6) przez t^2 i przechodząc z t do granicy w nieskończoności. Otrzymamy wówczas następujący warunek:

$$F^* \quad \vec{k} = \theta \tag{3.8}$$

gdzie

$$F^* = \lim_{t \to \infty} \frac{1}{t^2} F(\bar{a}_I\ t,\ t\ \bar{b}_s) \tag{3.9}$$

F^* jest macierzą o wymiarach (p-1)xm, otrzymujemy więc w ten sposób p-1 równań. W przypadku sieci bez konturów ilość oporów hydraulicznych, które należy wyznaczyć, równa jest

$$m = 2p - 2. \tag{3.10}$$

Wynika to z własności sieci o strukturze drzewiastej. Tak więc w celu określenia wektora k konieczne jest uzupełnienie równania (3.8). Można to uzyskać dopisując równanie (3.6) dla pewnego parametru t odpowiadającego średniemu poborowi wody przez odbiorców

$$b_s^* = b_s \quad t^* \tag{3.11}$$

$$F(y_I^*, b_s^*) \quad k = \frac{2}{3}\Delta \tag{3.12}$$

W ten sposób zagwarantowana jest już odpowiednia ilość równań. Spełnienie tych równań zapewnia zgodność asymptotycznych charakterystyk (3.8) oraz

analogiczne zachowanie się modelu zagregowanego w warunkach optymalnego reżimu pracy (3.11).

W przypadku jeśli postulowana struktura sieci zagregowanej zawiera kontury zamknięte, ilość przepływów, a więc także oporów hydraulicznych przewyższa ilość dysponowanych równań

$$m > 2p - 2 \tag{3.13}$$

Można wówczas sformułować dodatkowe zadanie optymalizacji o następującej postaci:

$$\min_{\substack{P^{*}\vec{k}=0 \\ \vec{k} \geq 0}} \left\| P(a_I\, t, \bar{b}_{*} \cdot t) - \frac{2}{3}\Delta \right\|_t \tag{3.14}$$

Rozwiązanie równań (3.8), (3.11) musi być oczywiście dodatnie, jeśli chcemy uzyskać realną, fizycznie realizowalną sieć zagregowaną. Jeżeli dla pewnego wariantu struktury sieci, warunek ten nie jest spełniony, wariant ten należy odrzucić.

Pozostaje obecnie do rozwiązania problem usytuowania zbiorników sieciowych i określenia oporów hydraulicznych łuków łączących zbiornik z ustalonym punktem sieci. Proponuje się w tym celu przeprowadzenie prostego eksperymentu symulacyjnego, którego celem jest określenie sumarycznego przepływu do odbiorców z j-tego zbiornika przy założeniu odcięcia wszystkich pozostałych zbiorników i innych źródeł. Załóżmy, że przepływ ten równy jest b_j^{*}. Uzyskanie takiego przepływu w sieci zagregowanej wymaga spełnienia następującego warunku:

$$h_j - d_o = (k^{(j)} + k_{oj})b_j^{*2} \tag{3.15}$$

gdzie:

h_j - wysokość lustra wody,

d_o - wysokość geodezyjna odbiorcy,

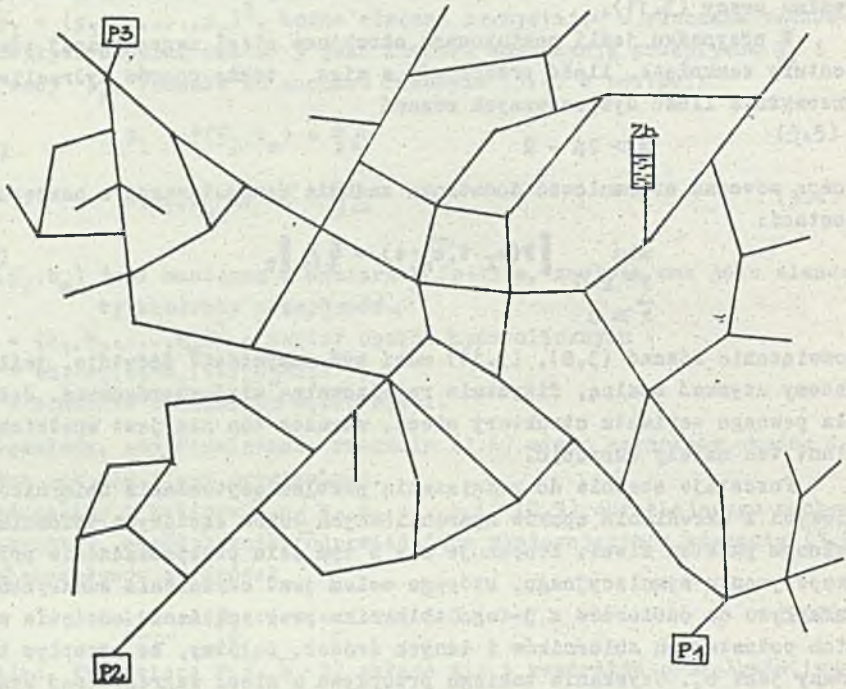
$k^{(j)}$ - opór hydrauliczny na drodze od punktu usytuowania zbiornika do odbiorcy,

k_{oj} - opór hydrauliczny w łuku łączącym zbiornik z siecią.

Równanie (3.14) pozwala zlokalizować niezależnie każdy z występujących w sieci zbiorników i określić parametry k_{oj}.

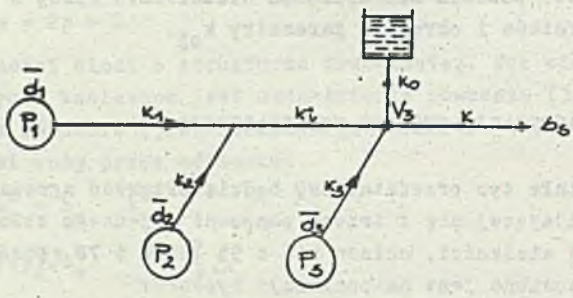
4. PRZYKŁAD AGREGACJI SYSTEMU WODOCIĄGOWEGO

W rozdziale tym przedstawiony będzie przykład agregacji sieci wodociągowej składającej się z trzech pompowni i jednego zbiornika. Jest to sieć średniej wielkości, składa się z 95 łuków i 78 węzłów. Struktura sieci przedstawiona jest na poniższym rysunku:



Rys. 4.1. Przykładowa sieć wodociągowa.

Parametry tej sieci podano w pracy [3]. Sieć zagregowaną zdefiniujemy jako sieć bez zamkniętych konturów. Przedstawiona ona jest na rysunku:



Rys. 4.2. Sieć zagregowana

Zgodnie z rezultatami przedstawionymi w poprzednim rozdziale różnice wysokości geodezyjnych pomiędzy poszczególnymi węzłami sieci muszą być takie same (3.3)

$$\begin{aligned} \bar{d}_2 - \bar{d}_3 &= d_2 - d_3 \\ \bar{d}_1 - \bar{d}_3 &= d_1 - d_3 \\ \bar{h} - \bar{d}_3 &= h - d_3 \end{aligned} \tag{4.1}$$

W celu określenia parametrów (k_i, i=1,...,n) rozpatrywany będzie model sieci z wyłączonym zbiornikiem. Podstawą wyznaczenia tych parametrów są asymptotyczne charakterystyki systemu. Dla systemu oryginalnego przedstawionego na rys. 4.1 nachylenia asymptot odpowiadających przepływom y_1, y_2, y_3 policzono w pracy [3]. Są one równe

$$\vec{a} = \begin{bmatrix} 0.45 \\ 0.37 \\ 0.2 \end{bmatrix} \tag{4.2}$$

Wartość średniego poboru (3.11), dla którego formułowany jest warunek pełnej zgodności modeli (3.12) i odpowiadające mu wartości przepływów w systemie oryginalnym wynoszą:

$$\begin{aligned} b_3^* &= 2000 \text{ l/s} \\ y_1^* &= 732 \text{ l/s} \\ y_2^* &= 920 \text{ l/s} \\ y_3^* &= 508 \text{ l/s} \end{aligned} \tag{4.3}$$

Sformułowane zostały wszystkie niezbędne dane umożliwiające rozwiązanie układu równań (3.8) i (3.12). Rozwiązanie to ma następującą postać:

$$\begin{aligned} k_1 &= \frac{1}{3} \frac{d_2 - d_1}{y_1^*(y_1^* - y_2^* \frac{a_1}{a_2})} \\ k_2 &= k_1 \frac{y_1^*}{y_2^*} \frac{a_1}{a_2} \\ k_3 &= \frac{(y_1^*+y_2^*)y_2^* a_2 k_2 + \frac{1}{3}(a_1+a_2)(d_3-d_2-3k_2 y_2^{*2})}{y_3^*\left[a_3(y_1^*+y_2^*)-y_3^*(a_1+a_2)\right]} \\ k_4 &= \frac{y_2^* y_3^* a_2 k_2 + \frac{1}{3}(d_3-d_2-3k_2 y_2^{*2})a_3}{(y_1^*+y_2^*)\left[a_3(y_1^*+y_2^*)-(a_1+a_2)y_3^*\right]} \end{aligned} \tag{4.4}$$

Analiza struktury sieci zagregowanej wskazuje na możliwość przeprowadzenia obliczeń w kilku wariantach. Struktura ta nie jest bowiem symetryczna. Można w niej wyróżnić trzy warianty w zależności od tego, którą z trzech pompowni umieści się w węźle V_3 (w węźle najbliższym zagregowanemu odbiorcy). Warianty te oznaczać będziemy parą (V_3, P_i) i=1,2,3. Rezultaty obliczeń przedstawiono w poniższej tabeli

WARIANT STRUKTURY	$k_1 \left[\frac{ms^2}{l}\right]$	$k_2 \left[\frac{ms^2}{l}\right]$	$k_3 \left[\frac{ms^2}{l}\right]$	$k_4 \left[\frac{ms^2}{l}\right]$
(V_3, P_3)	0.00004752	0.00007265	0.00006719	-0.000095
(V_3, P_2)	0.00007536	0.00002827	0.00000385	-0.00000838
(V_3, P_1)	0.00003782	0.00001487	0.00008058	0.0000044

Okazuje się, że tylko w jednym z trzech przedstawionych wariantów wszystkie opory hydrauliczne są dodatnie. Wskazuje to jednoznacznie, który wariant struktury należałoby w tym przypadku wybrać.

Jako podstawę obliczeń pozostałych nieznanych parametrów można przyjąć ciśnienie na wyjściu jednej z pompowni. Zgodność ciśnień w pozostałych pompowniach gwarantuje warunek (3.12). Przyjmiemy jako podstawę obliczeń pompownię P_1, dla modelu zagregowanego mamy

$$p_1 = \bar{d}_1 + k_1 y_1^2 + k\, b_s^{*2} \tag{4.5}$$

gdzie:

p_1 - ciśnienie na wyjściu pompowni P_1,
$\bar{d}_1$ - wysokość geodezyjna P_1,
k - opór hydrauliczny w gałęzi odbiorcy.

Wystarczy teraz znać charakterystykę ciśnienia w systemie oryginalnym na wyjściu pompowni P_1 w więcej niż dwóch punktach, aby wyznaczyć (metodą najmniejszych kwadratów) parametry $\bar{d}_1$, k.

Obliczenia przeprowadzone dla realnych charakterystyk ciśnienia [3] pozwoliły uzyskać następujący wynik:

$$\begin{aligned} k &= 0.000001 \left[\frac{ms^2}{l}\right] \\ d_1 &= 41.735 \text{ m} \end{aligned} \tag{4.6}$$

Wartość oporu hydraulicznego k_o obliczono przeprowadzając wcześniej eksperyment określający następującą maksymalną wydajność zbiornika przy niepracujących pompowniach

$$b_o^* = 1450 \left[l/s\right] \tag{4.7}$$

Korzystając ze wzoru (3.15) otrzymano wyniki

$$k_o = 0.0000015 \qquad (4.8)$$

Na zakończenie obliczeń wyznaczymy brakujące wysokości geodezyjne. Obliczenia przeprowadza się korzystając z warunku (3.3) i wcześniej wyznaczonej wysokości $\bar{d}_1$ (4.6). Otrzymujemy:

$$\bar{d}_2 = 37.835 \text{ m}$$

$$\bar{d}_3 = 28.685 \text{ m}$$

$$\bar{h} = 8 \text{ m}$$

5. UWAGI KOŃCOWE

Główną przesłanką budowy modelu zagregowanego zaprezentowanego w niniejszej pracy jest koncepcja wykorzystania go na wyższym poziomie sterowania dla określenia strategii napełniania zbiornika sieciowego. Model ten w szczególności służyć może do weryfikacji dopuszczalności i realizowalności wariantów sterowania i określania przybliżonej wartości kosztów energetycznych wytypowanych wariantów.

Cel ten można oczywiście osiągnąć poprzez dokładną symulację całego systemu, niemniej wymóg dopuszczalnego czasu na podejmowanie decyzji operatorskich wyklucza możliwość przyjęcia takiej techniki, zwłaszcza dla systemów o dużej złożoności.

Przyjęta technika agregatyzacji pozwala zachować podstawowe własności systemu oryginalnego. W szczególności, jak to pokazano w pracy [3], model zagregowany może dostarczyć wiarygodnej informacji o ogólnym kształcie zbiorów dopuszczalnych i kształcie funkcji celu, które mają istotne znaczenie w określaniu dopuszczalnych i optymalnych strategii napełniania zbiorników.

Testy numeryczne, których celem było porównanie modelu oryginalnego i zagregowanego, potwierdziły niemal pełną zgodność generowanych przez te modele zbiorów dopuszczalnych. Wartość mocy wydatkowanej na zaspokojenie potrzeb odbiorców różniła się dla modelu zagregowanego nie więcej niż 1% w porównaniu z wynikiem dokładnym uzyskiwanym w wyniku pełnej symulacji systemu oryginalnego.

LITERATURA

[1] Shin Ichiro Miyaoka, Motohisa Funabashi - "Optimal Control of Water Distribution Systems by Network Flow Theory" - IEEE Trans. on Autom. Contr. No. 4, April, 1984.

[2] Kotowski J. Olesiak M. - "The optimization of the energy wastes in the complex watersupply systems", Proceedings of the 6th IFAC/IFIP

International Conference of Digital Computer Applications to Process Control, Duseldorf 14-17, October, 1980.

[3] Olesiak M. i inni -"Opracowanie podstawowych założeń metod i algorytmów dla potrzeb operatywnego sterowania złożonym systemem wodociągowym", raport opracowany w Instytucie Cybernetyki Technicznej Polit. Wrocł. w ramach kierunku 01 PR-7.

[4] Hadley G., Whitin T.M., "Analysis of inventory systems" Prent. Hall, N.J., 1963.

[5] Kotowski J., Olesiak M. - "Gradientowe metody optymalizacji parametrów sieci wodociągowej" - Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Z60, Gliwice 1981.

[6] Nikodem J. - "Model matematyczny rozprowadzania wody w sieciach przepływowych w warunkach, gdy podaż przewyższa popyt" - Materiały II Sympozjum: Podstawy Projektowania Systemów Zaopatrzenia w wodę Aglomeracji miejsko-przemysłowych, Karpacz 15-17 maja 1980.

AN AGGREGATION OF COMPLEX WATER SUPPLY SYSTEM IN CONTROL

Summary

A new method of the aggregation of a water supply system is presented in this paper. The aggregated network is formed as a network without any closed loop. On the contrary to another known aggregation method, the aóroach presented in this paper is based on some fundamental properties of the water supply system. The exact conformity of asymptotic characteristic of the original and aggregated model is assumed.

Therefore this method can be specially usefull in the case of great consumer demands.

АГРЕГАЦИЯ СЛОЖНЫХ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ НУЖД УПРАВЛЕНИЯ ВОДОСНАБЖАЕМЫХ СИСТЕМ

Резюме

В работе представлен новый метод агрегации водоснабжаемой сети. Идеей этого метода является замена оригинальной сети более простой системой, не содержащей замкнутых контуров. Этот метод использует некоторые существенные свойства водоснабжаемой сети. В частности гагантирует он согласие асимптотических характеристик оригинальной и редуцированной систем. Метод этот может стать особенно полезным для большинства реально функционирующих систем в состоянии значительной нагрузки.