

Janusz ŻELEZIK
Instytut Automatyki
Politechnika Śląska

WYZNACZANIE OPTIMALNEGO HARMONOGRAMU PRACY DLA FRAGMENTU RZECZYWISTEJ SIECI WODOCIĄGOWEJ

Streszczenie. W artykule omówiono kolejne czynności obliczeniowe, które składają się na wyznaczenie sterowania optymalnego w układzie otwartym dla systemu zaopatrzenia w wodę. Rozwiązano zadanie optymalizacji dla rzeczywistego układu wodociągowego obejmującego m.in. 5 pompowni i 4 zbiorniki wody. Wyniki obliczeń przedstawione w postaci odpowiednich wykresów i wnioski potwierdzają przydatność stosowanych metod do optymalizacji dużych sieci wodociągowych.

1. WSTĘP

W Instytucie Automatyki Politechniki Śląskiej prowadzono m.in. prace w zakresie metod sterowania systemem zaopatrzenia w wodę. W szczególności opracowano różne algorytmy wyznaczania optymalnych harmonogramów pracy obiektów, tj. sterowania w układzie otwartym. W pierwszym etapie algorytmy te badano na przykładach małych fragmentów systemu zaopatrzenia, jak np. stacja uzdatniania wody [3], układ wodociągowy i zbiornik - 2 pompownie [4], [2]. Bezpośrednie zastosowanie opracowanych algorytmów do dużych systemów zaopatrzenia w wodę nie jest oczywiście, wręcz przeciwnie, bowiem wymiarowość zagadnienia optymalizacji, co pociąga za sobą znaczne zwiększenie czasu obliczeń oraz zapotrzebowania na pamięć operacyjną.

Dobre własności posiada algorytm optymalizacji wykorzystujący metodę Tamury [1], którego wcześniejszą wersję i prosty przykład zastosowania opisano w pracy [2]. Potwierdzają to również wyniki optymalizacji uzyskane dla dużego fragmentu sieci zaopatrzenia w wodę GOP. Istotne jest także to, że przygotowano inne, pomocnicze programy obliczeniowe związane z zadaniem optymalizacji (np. przeznaczone do opracowania modelu dynamicznego systemu, czy badania wyznaczonych strategii sterowania). Sama optymalizacja jest bowiem tylko jednym z elementów złożonego łańcucha czynności składających się na wypracowanie i badanie sterowania systemem zaopatrzenia w wodę.

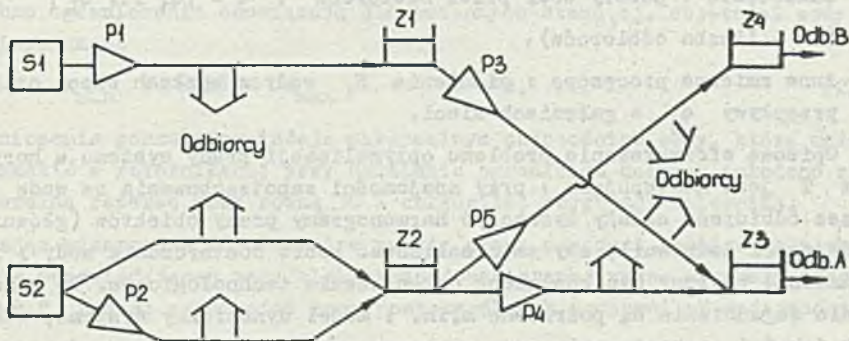
Kolejne etapy tworzenia i badania algorytmu sterowania obejmują :

- a/ Zebranie danych o systemie wodociągowym, opracowanie modelu fizykalnego i badania symulacyjne. Jest to wstępny etap badań, którego nadrzędnym celem jest dobre rozpoznanie systemu, ustalenie najważniejszych zmiennych procesowych, wyznaczenie dopuszczalnych punktów pracy obiektów np. pompowni, ustalenie wskaźnika jakości sterowania i ograniczeń. Pomocnym narzędziem w tym etapie jest przygotowany algorytm obliczeniowy [5] przeznaczony do modelowania fizykalnego i symulacji pracy systemu.
- b/ Opracowanie modelu dynamicznego przeznaczonego do sterowania. Nie nadaje się do tych celów wstępnego modelu fizykalnego. Opracowano program obliczeniowy [6] umożliwiający wyznaczenie współczynników liniowego modelu dynamicznego w przestrzeni stanów przez linearyzację modelu fizykalnego i agregację odbiorców.
- c/ Wyznaczenie optymalnych sterowań w układzie otwartym, tj. optymalnych harmonogramów pracy obiektów systemu.
- d/ Ustalenie zasad sterowania ze sprzężeniem zwrotnym.
- e/ Badania symulacyjne opracowanej metody sterowania z wykorzystaniem pierwotnego modelu fizykalnego celu poznania własności i efektów sterowania.

W dalszej części artykułu skoncentrowano się na omówieniu danych i wyników optymalizacji (pkt c) fragmentu rzeczywistej sieci zaopatrzenia w wodę GOP.

2. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU I PROBLEMU OPTIMALIZACJI

Wybrany obiekt badań obejmuje duży fragment systemu zaopatrzenia w wodę GOP., ważny z punktu widzenia sterowania ze względu na rozrząd dużego strumienia objętości wody. Ogólny schemat sieci zamieszczono na rys.1. Woda jest dostarczana z dwóch stacji uzdatniania S1 i S2 ; analizuje się sieć wodociągową poczynając od zbiorników wody czystej SUW. Ze stacji S1 woda spływa grawitacyjnie lub jest tłoczona za pomocą pompowni P1 do zbiornika Z1, skąd pompownia pośrednia P3 tłoczy wodę do zbiornika Z3. Z kolei woda ze stacji S2 jest dostarczana dwoma rurociągami magistralnymi do zbiornika Z2, jeden rurociąg jest grawitacyjny, drugi grawitacyjno-tłoczny z pompownią P2. Dwie niezależne pompownie P4 i P5 zasilane ze zbiornika Z2 tłoczą wodę rurociągami odpowiednio do zbiorników Z3 i Z4. Z tych ostatnich odbywają się zasadnicze rozbiory wody, zbiorniki Z3 i Z4 są bowiem zbiornikami początkowymi dla rozległej sieci rozprowadzającej wodę. Odbiorcy A i B reprezentują całkowite pobory wody z tych zbiorników. Lniejsi odbiorcy wody są zlokalizowani wzdłuż wszystkich rurociągów magistralnych przedstawionych na schemacie.



Rys.1. Uproszczony schemat badanego układu wodociągowego

Analizowany system wodociągowy obejmuje w sumie 4 duże zbiorniki wody i 5 pompowni wyposażonych w różne typy i liczby zespołów pompowych, które mogą pracować równolegle (od 4 do 9 pomp w jednej pompowni). Odbiorcy są zlokalizowani w 39 węzłach sieci.

Celem rozpatrywanego systemu wodociągowego jest zaopatrzenie w wodę odbiorców z dostępnych stacji uzdatniania S1 i S2 przy zachowaniu ograniczeń technologicznych. Celem optymalnego sterowania jest realizacja tego zadania przy równoczesnej minimalizacji zmiennych kosztów, na które składają się głównie koszty energii elektrycznej zużytej na pompowanie wody.

Sterowanie w tej sieci odbywa się przez zmianę wydajności pompowni, co osiąga się przez dobór odpowiednich zestawów (liczb) pracujących pomp. Jak wiadomo, całkowity strumień objętości wody tłoczony przez daną pompownię zależy ponadto od innych zmiennych procesowych, takich jak : poziomy wody w zbiornikach czerpalnym i górnym, czy wielkość rozbioru wody bezpośrednio z rurociągu tłoczego. W dalszym ciągu przez sterowaną wydajność pompowni będzie rozumiana wydajność umowna, równa strumieniowi objętości wody tłoczony przy założeniu średniej wartości dla pozostałych zmiennych procesowych ; wielkość ta jest funkcją tylko liczby pracujących pomp. Wydajność może być mierzona tylko w określonych chwilach czasu, co narzuca dyskretny w czasie charakter sterowania. Przyjęto okres dyskretyzacji równy $\Delta t = 2 h$.

Wyróżnia się następujące rodzaje zmiennych procesowych :

- zmienne sterujące : wydajności pompowni ; $u = [u_1, u_2 \dots u_5]^T$,
- zmienne stanu : objętości wody w zbiornikach ; $x = [x_1, \dots x_4]^T$,
- zakłócenia : pobory wody przez odbiorców ; $Q = [Q_1 \dots Q_L]^T$
(L - liczba odbiorców),
- inne zmienne procesowe : ciśnienia H_i wody w węzłach sieci oraz przepływy q_j w gałęziach sieci.

Opisowe sformułowanie problemu optymalizacji pracy systemu w horyzoncie T jest następujące : przy znajomości zapotrzebowania na wodę Q przez odbiorców należy wyznaczyć harmonogramy pracy obiektów (głównie wydajności pompowni), aby zminimalizować koszt dostarczania wody ; jednocześnie powinny być spełnione ograniczenia technologiczne. Do rozwiązania zagadnienia są potrzebne m.in. : model dynamiczny systemu, wskaźnik jakości, ograniczenia oraz prognozy zapotrzebowania na wodę przez odbiorców. Za horyzont optymalizacji przyjęto 1 dobę, którą zgodnie z przyjętym okresem dyskretyzacji podzielono na K=12 elementarnych odcinków czasu (k = 0,1, ... , 11).

3. MODEL DYNAMICZNY, WSKAŹNIK JAKOŚCI, OGRANICZENIA

Na początku opracowano model fizyczny systemu. Stanowi on szczegółową reprezentację analizowanej sieci wodociągowej, poszczególne równania są zależnościami fizycznymi opisującymi elementy składowe sieci, tj. rurociągi, pompownie, węzły sieci, zbiorniki itd. Parametry modelu ustalono częściowo na podstawie uaktualnionych danych projektowych, a częściowo bieżących danych eksploatacyjnych.

Istotnym problemem przy modelowaniu sieci wodociągowej jest ustalenie charakterystyk odbiorców wody, w szczególności harmonogramów godzinowego zapotrzebowania na wodę w ciągu doby. Zadanie opracowania odpowiednich modeli prognostycznych oraz ich bieżącej identyfikacji wykracza poza ramy tego artykułu i może być rozwiązane po odpowiednim oprzyrządowaniu pomiarowym systemu. W analizowanej sieci godzinowe zapotrzebowania na wodę określono w oparciu o znajomość średniodobowego zużycia wody przez poszczególnych odbiorców oraz przyjęcie dla określonych grup odbiorców (np. osiedla mieszkaniowe, przemysł itp.) podobnych wskaźnikowych harmonogramów poboru wody.

Algorytm symulacji [5] z wykorzystaniem modelu fizycznego umożliwia badanie sieci w różnych warunkach zasilania i rozbioru wody. Wyznaczono punkty pracy (spadki ciśnień i przepływy) dla wszystkich pompowni przy różnych zestawach pracujących pomp. Ustalono zestawy dopuszczalne, biorąc pod uwagę charakterystyki pomp podane przez wytwórcę. W przypadku pompowni P1 uwzględniono dodatkowo ograniczenie na maksymalne ciśnienie

w żelbetowym rurociągu grawitacyjno-tłocznym. W ten sposób ustalono ograniczenia nierównościowe na wydajności pompowni, tj. zmienne sterujące :

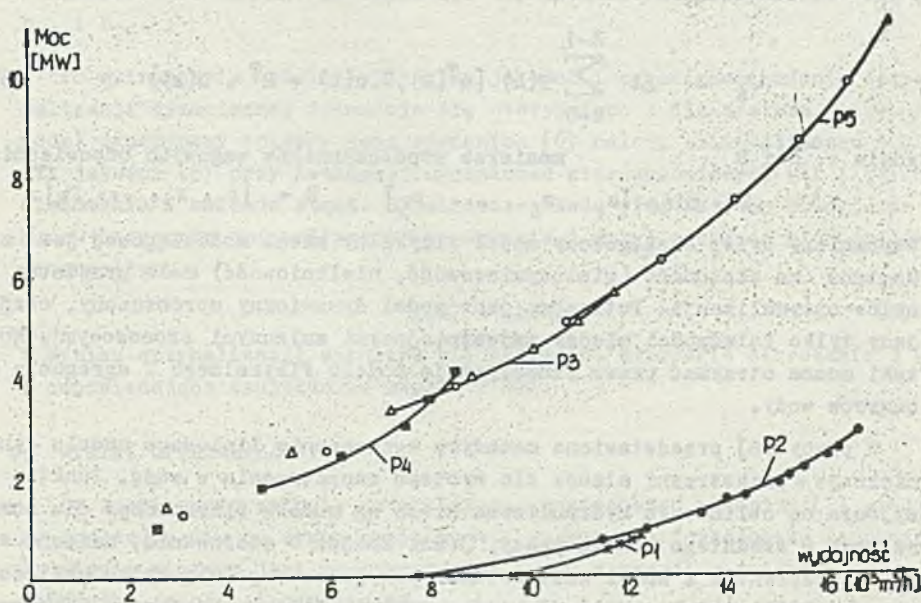
$$u_{\min} \leq u(k) \leq u_{\max} \quad k = 0, 1 \dots (K-1) \quad (1)$$

Podobne ograniczenia obowiązują dla zmiennych stanu, tj. objętości wody w zbiornikach:

$$x_{\min} \leq x(k) \leq x_{\max} \quad k = 0, 1 \dots K \quad (2)$$

Ograniczenia górne odpowiadają maksymalnym objętościom wody, którą można zgromadzić w zbiornikach; przy ustalaniu ograniczeń dolnych założono nie naruszalną rezerwę wody równą 30 % całkowitej objętości zbiornika.

Mając wyznaczone dopuszczalne punkty pracy pompowni możliwe było obliczenie odpowiadającej mocy elektrycznej pobieranej przez agregaty pompowe. Na rys.2 podano zależności mocy poszczególnych pompowni od wydajności.



Rys.2. Charakterystyki mocy zużywanej przez pompownie.

Zaznaczone punkty odpowiadają różnym zestawom pomp, liniami ciągłymi aproksymowano te zależności w dopuszczalnym zakresie zmian wydajności (1). Dla pompowni P1 i P2 moc równa 0 odpowiada pracy grawitacyjnej. Warto zwrócić uwagę na znaczne różnice w mocy pobieranej przez pompownie P1-P2 a P3-P5.

Zależność mocy elektrycznej P_j pobieranej przez j -tą pompownię dobrze przybliża funkcja kwadratowa od wydajności u_j :

$$P_j(u_j) = s_j \cdot u_j^2 + r_j \cdot u_j + r_{0j} \quad j = 1, 2 \dots 5 \quad (3)$$

gdzie: s_j, r_j, r_{0j} - są stałymi współczynnikami wyznaczonymi przez aproksymację średniokwadratową.

Zgodnie z przyjętym celem sterowania wskaźnik jakości obejmuje koszty pompowania wody w horyzoncie optymalizacji:

$$J_S = \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{j=1}^5 T(k) \cdot \Delta t \cdot P_j [u_j(k)] \quad (4)$$

gdzie: $T(k)$ oznacza taryfę cenową za energię elektryczną w różnych okresach doby.

Uwzględniając zależność (3) i pomijając koszty stałe, zmienne koszty pompowania wyrażają się równaniem:

$$J_Z = \Delta t \sum_{k=0}^{K-1} T(k) [u^T(k) \cdot S \cdot u(k) + R^T \cdot u(k)] \quad (5)$$

gdzie: S i R macierze współczynników wagowych odpowiednio

$$S = \text{diag} [s_1, s_2, \dots, s_5], \quad R = [r_1, r_2, \dots, r_5]^T.$$

Wspomniany wyżej szczegółowy model fizyczny sieci wodociągowej jest ze względu na złożoność (wielowymiarowość, nieliniowość) mało przydatny do celów optymalizacji. Potrzebny jest model dynamiczny uproszczony, obejmujący tylko zależności między najważniejszymi zmiennymi procesowymi. Model taki można otrzymać przez linearyzację modelu fizycznego i agregację odbiorców wody.

W pracy [6] przedstawiono metodykę wyznaczania liniowego modelu dynamicznego w przestrzeni stanów dla systemu zaopatrzenia w wodę. Punktem wyjścia są obliczenia hydrauliczne sieci wg modelu fizycznego dla nominalnego - średniego punktu pracy, jeśli chodzi o sterowania, zmienne stanu i zakłócenia. Z kolei zastosowanie przygotowanego algorytmu obliczeniowego MODD pozwala wyliczyć współczynniki zlinearyzowanego i zagregowanego modelu dynamicznego w wersji ciągłej, który łatwo przekształca się do postaci dyskretnej. Ostateczny model dynamiczny dyskretny w przestrzeni stanów ma postać:

$$x(k+1) = A \cdot x(k) + B \cdot u(k) - c(k) \quad (6)$$

gdzie: $x(k), u(k)$ - odpowiednio wektory zmiennych stanu i sterowań w chwili (k) ,

$c(k)$ - zagregowany wektor zakłóceń, odpowiadający zapotrzebowaniu

niom na wodę przez odbiorców i sprowadzonym do wyjścia zbiorników. A, B - macierze współczynników modelu, które dla analizowanej sieci wynoszą odpowiednio :

$$A = \begin{bmatrix} 0,904 & 0,000 & 0,014 & 0,000 \\ 0,000 & 0,689 & 0,009 & 0,020 \\ 0,050 & 0,035 & 0,976 & 0,001 \\ 0,000 & 0,035 & 0,000 & 0,976 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$B = \begin{bmatrix} 1,903 & 0,000 & -1,889 & 0,014 & 0,000 \\ 0,000 & -1,669 & 0,009 & -1,660 & -1,648 \\ 0,013 & 0,037 & 1,963 & 1,339 & -0,037 \\ 0,000 & 0,038 & 0,000 & -0,038 & 1,938 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Warto zwrócić uwagę, że spośród współczynników na przekątnej głównej macierzy A najmniejszą wartość ma a_{22} , co oznacza największą wartość wewnętrznego sprzężenia zwrotnego dla zmiennej stanu x_2 . Fizycznie wynika to z istnienia grawitacyjnego rurociągu doprowadzającego wodę do zbiornika Z2. Podobnie interpretuje się wielkość współczynników b_{22} , b_{24} i b_{25} .

Po wyznaczeniu modelu, wskaźnika jakości i ograniczeń zadanie optymalizacji dynamicznej formułuje się następująco : dla systemu, którego model dynamiczny opisany jest równaniem (6) należy zminimalizować wskaźnik jakości (5) przy istnieniu ograniczeń nierównościowych (1) i (2) na sterowania i zmienne stanu. Dodatkowo zakłada się, że stan obiektu na końcu horyzontu optymalizacji (po upływie 1 doby) wraca do stanu wyjściowego, tzn. :

$$x(k) = x(0) \quad (9)$$

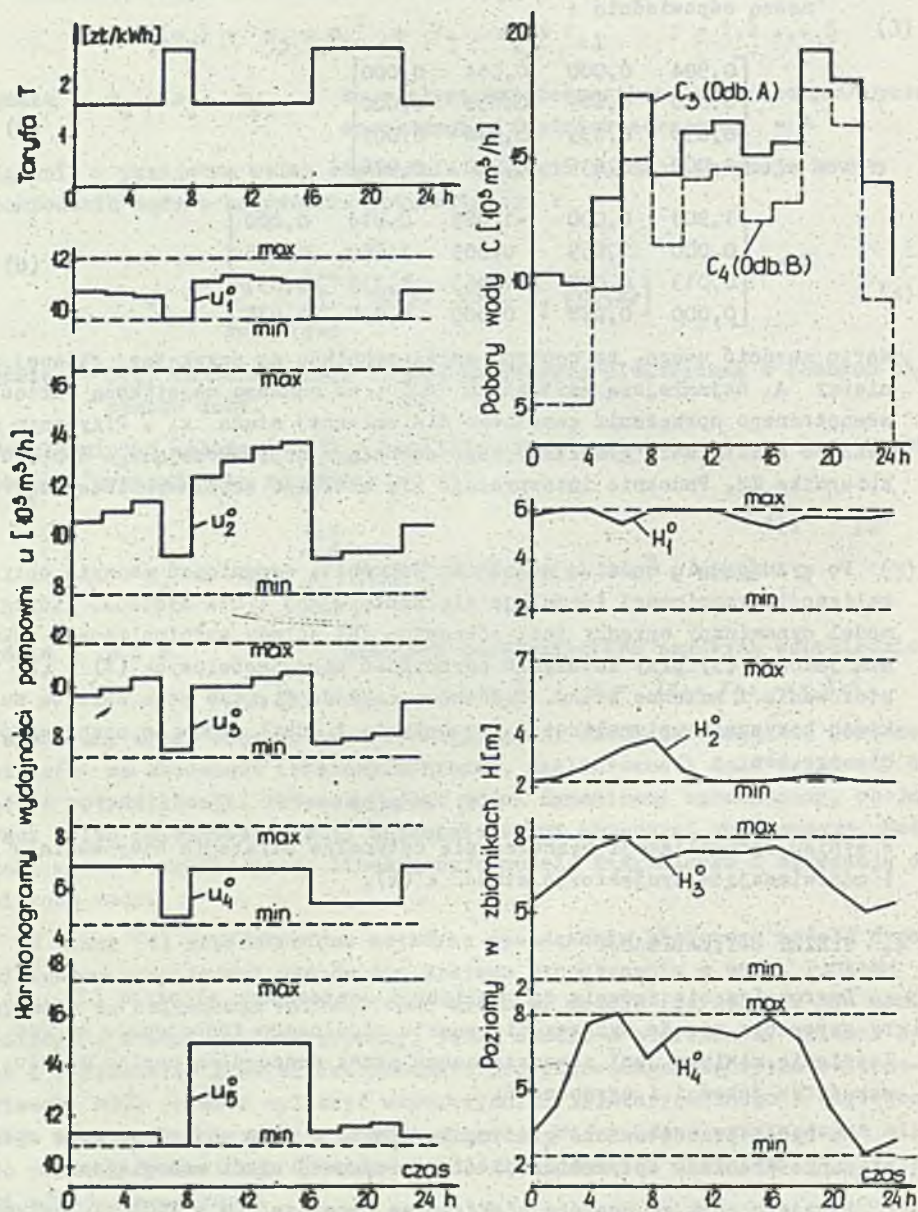
W wyniku optymalizacji wyznacza się optymalne strategie sterowania $u^0(k)$ i odpowiadające trajektorie stanu $x^0(k)$.

4. WYNIKI OPTIMALIZACJI

Do rozwiązania zadania optymalizacji zastosowano algorytm [2], który sprowadza się do wyznaczania punktu siodłowego funkcjonau Lagrange'a. Istnienie minimum jest zagwarantowane przez szczególną postać modelu, wskaźnika jakości i ograniczeń.

Na rys.3 przedstawiono graficznie niektóre dane wejściowe oraz rozwiązanie problemu optymalizacji dla opisywanej sieci wodociągowej.

Przyjęto ceny za energię elektryczną obowiązujące w 1984 r., optymalizacja dotyczy okresu zimowego, w którym szczyt energetyczny i wyższa cena energii elektrycznej obowiązują najdłużej. Dla przykładu pokazano harmonogramy poboru wody $c(k)$ przez odbiorców skupionych przy zbiornikach Z3 i Z4. Jako wyniki optymalizacji podane harmonogramy optymalnych wy-



Rys.3. Wykresy czasowe ważniejszych zmiennych do przykładu optymalizacji

dajności $u_j^o(k)$ (sterowań) dla 5 pompowni oraz przebiegi czasowe poziomów $H_1^o(k)$ wody w 4 zbiornikach. Poziomy odpowiadają jednoznacznie zmien-
nym stanem, tj. objętościom wody w zbiornikach. Na tych samych wykresach
zaznaczono również ograniczenia na zmienne $u_j(k)$ oraz $H_1(k)$. Wyliczono,
że dla sterowania optymalnego dobowy koszt energii elektrycznej zużywanej
przez pompownie wynosi ok. 644 tys. zł. Dla porównania wyznaczono za po-
mocą tego samego algorytmu harmonogramy pracy obiektów przy tradycyjnych
regułach sterowania, których głównym celem jest utrzymanie możliwie sta-
łych i wysokich poziomów wody w zbiornikach. Koszt zużywanej energii ele-
ktrycznej wynosi wtedy ok. 705 tys. zł. Optymalne harmonogramowanie zabez-
piecza więc obniżenie kosztów energii o około 10 % .

W rozwiązaniu zadaniu optymalizacji mieszczą się dwa aspekty zagadnie-
nia : optymalizacja w czasie i optymalizacja w przestrzeni. Optymalizacja
w czasie przejawia się tym, że w okresach wysokiej ceny energii elektrycz-
nej wydajności wszystkich pompowni są stosunkowo małe, bliższe lub równe
dolnym ograniczeniom. W pompowni P1 wyłączone są wtedy wszystkie pompy,
a woda do zbiornika Z1 dopływa jedynie grawitacyjnie. W przeciwności
do tego w okresach pozaszczytowych pompownie pracują z dużą wydajnością,
gromadząc rezerwy wody w największych zbiornikach Z3 i Z4 . Z rezerw tych
są zasilani odbiorcy w okresach szczytowych. Z kolei optymalizacja w prze-
strzeni jest realizowana przez odpowiedni rozdział obciążeń na różne uję-
cia i pompownie. Tak np. woda do zbiornika Z3 może być dostarczana z
dwóch różnych stacji uzdatniania niezależnymi ciągami technologicznymi
i optymalizacja zapewnia tu najlepszy podział potrzebnego strumienia ob-
jętości wody. Podobnie rozdzielana jest woda ze zbiornika Z2 na dwa
kierunki zasilania.

Przy okazji omawiania rozdziału obciążeń na różne ujęcia i pompownie
trzeba odnotować, że średnie punkty pracy obiektów wyznaczone w trakcie
optymalizacji niewiele różnią się od obecnych, eksploatacyjnych punktów
pracy. Jest to zjawisko pozytywne. Poszczególne ciągi technologiczne oma-
wianego układu wodociągowego były bowiem realizowane w różnych okresach.
Mogło zdarzyć się, że wystąpią duże różnice w ekonomiczności poszczegól-
nych ciągów. Optymalizacja w takich warunkach preferowałaby pracę na gór-
nych ograniczeniach dla ujęć i pompowni bardziej ekonomicznych i odwrot-
nie. Przedstawione harmonogramy pracy pompowni świadczą, że zjawisko ta-
kie nie występuje, co świadczy o zapewnieniu poprawnej współpracy objek-
tów.

Z analizy optymalnych harmonogramów pracy pompowni wynika, że przy ich
realizacji konieczne jest sterowanie wydajnościami w czasie poprzez zają-
cie odpowiedniej liczby agregatów pompowych. Przy sterowaniu tradycyj-
nym obowiązuje zasada zwiększania wydajności pompowni w okresach zwiększo-
nego poboru wody, aby utrzymać możliwie stałe poziomy wody w zbiornikach
bliskie maksymalnym. Z kolei przy sterowaniu optymalnym obserwuje się og-
raniczanie wydajności w okresie szczytu energetycznego, kiedy to nasila-

nie odbiorców odbywa się w dużej mierze z rezerw wody zgromadzonej w zbiornikach.

Ze zmienności objętości lub poziomu wody w zbiornikach wynika, że wykorzystywane są głównie możliwości buforowania wody w dużych zbiornikach Z3 i Z4. Szczególnie w zbiorniku Z3 wykorzystuje się cały zakres dopuszczalnych zmian poziomu wody. Zwiększenie objętości właśnie tego zbiornika obniżyłoby koszt pracy systemu. Poprawa może również nastąpić po zrealizowaniu dodatkowej dostawy wody z projektowanej stacji uzdatniania. Mimo spracowywania zbiorników Z3 i Z4 pozytywnym zjawiskiem jest utrzymywanie rezerw wody bliskich maksymalnym przez dużą część doby, tj. w godzinach między 2⁰⁰ a 18⁰⁰.

Poziomy wody w małych zbiornikach pośrednich Z3 i Z4 zmieniają się w niewielkim zakresie. Dla pierwszego z nich korzystny jest preferowany poziom bliski maksymalnemu. W przypadku zbiornika Z2 lepszy jest niski poziom wody, ponieważ dzięki temu zwiększa się dopływ wody ze stacji S2 rurociągiem grawitacyjnym.

Podany wskaźnik obniżenia kosztów energii elektrycznej jest przybliżony. Można liczyć się, że jest wyższy, ponieważ koszty porównawcze dla sterowania tradycyjnego wyliczono za pomocą algorytmu, który uwzględniał niektóre cechy optymalności harmonogramów. Ponadto obniżka kosztów zależy w dużym stopniu od rozpiętości cen za energię w okresie szczytu i poza szczytem (większa rozpiętość - większy zysk). W analizowanym okresie stosunek tych cen był wyjątkowo mały, tj. 1,67 - dla porównania w okresie poprzednim było 4,07.

5. UWAGI KOŃCOWE

Wszystkie obliczenia wykonywane były na m.c. ODRA 1305. Program optymalizacji dla omówionego przykładu wymagał pamięci operacyjnej 8 k, natomiast czas obliczeń wynosił ok. 2 min. Obliczenia potwierdziły przydatność programu do wyznaczania optymalnych harmonogramów pracy dla dużych układów wodociągowych.

Przy wyznaczaniu optymalnych sterowań uwzględnione zostały zasadnicze ograniczenia technologiczne, stąd wnioskuje się o ich realizowalności. Można także zaproponować stopniowe wprowadzanie nowych zasad sterowania. Przez niewielką modyfikację wskaźnika jakości oraz ograniczeń możliwe jest wyznaczenie w pierwszym rzędzie sterowań pośrednich między tradycyjnymi a optymalnymi.

Po harmonogramowaniu kolejnym etapem opracowywania algorytmów sterowania systemem zaopatrzenia w wodę powinno być ustalenie zasad sterowania w układzie zamkniętym. Jest to konieczne co najmniej z dwóch powodów:
- rzeczywiste pobory wody przez odbiorców (tj. zakłócenia) różnią się od wartości przewidywanych,

- sterowania w układzie otwartym są realizowane niedokładnie.

Przy braku sprzężenia zwrotnego spowodowałoby to duże odchyłki rzeczywistych trajektorii stanu od optymalnych, a nawet przekroczenie ograniczeń (przelewianie lub opróżnianie zbiorników).

W pracy [7] podjęto próbę syntezy sterowania ze sprzężeniem zwrotnym dla prostej sieci wodociągowej. Obecnie ta sama metoda została zastosowana do układu wodociągowego analizowanego w tym artykule. Rezultaty zostaną przedstawione w późniejszym terminie.

Z kolei do badania gotowych algorytmów sterowania siecią wodociągową można wykorzystać program symulacji [5] działający w oparciu o model fizyczny. Za pomocą odpowiedniej procedury muszą być generowane przewidywane zapotrzebowania na wodę obejmujące dwie składowe: a/ zdeterminowaną - średnią, b/ losową - wokół przebiegów zdeterminowanych. W wyniku symulacji wylicza się przebiegi ciśnień, przepływów i poziomów zbiorników, a także efekty sterowania.

Podany sposób badania z wykorzystaniem modelu fizycznego jest właściwy, bo obejmuje sprawdzenie łączne modelu dynamicznego, sterowania w układzie otwartym oraz zamkniętym dla tego samego układu wodociągowego.

LITERATURA

- [1] COULBECK B., STERLING M. : Optimized control of water distribution systems. Proceedings IEE, Vol.125, No 9, October 1978.
- [2] ŻELEZIK J. : Optymalizacja pracy systemu zaopatrzenia w wodę. Zesz.Nauk.Politechniki Śl., Automatyka, nr 69, Gliwice 1983.
- [3] SZEBESZCZYK J. : Możliwości operatywnego sterowania stacją uzdatniania wody. Zesz.Nauk.Politechniki Śl., Automatyka, nr 60, Gliwice 1981.
- [4] SZTWIERTNIA-POCIASK U. : Możliwości sterowania podsystemem zaopatrzenia w wodę systemu wodno-gospodarczego. Zesz.Nauk.Pol.Śl., Automatyka nr 60, Gliwice 1981.
- [5] ŻELEZIK J. : Algorytm symulacji sieci zaopatrzenia w wodę przy wykorzystaniu modelu fizycznego. Zesz.Nauk.Pol.Śl., Automatyka, nr 60 Gliwice 1981.
- [6] ŻELEZIK J. : Model dynamiczny systemu zaopatrzenia w wodę. Sprawozdanie z pracy NB-404, Instytut Automatyki Pol.Śl., Gliwice 1983 (niepubl)
- [7] ŻELEZIK J. : The closed-loop control for the water supplying system. Proc. of the Symposium "System analysis and simulation" - Berlin 1985 (w przygotowaniu).

DETERMINATION OF AN OPTIMAL SCHEDULES FOR THE
REAL WATER NETWORK FRAGMENT

S u m m a r y

In the paper successive calculation operations used to design an open-loop control for a water supply system are presented. The optimization task for the real system containing 5 pump stations and 4 water reservoirs is solved. The results of calculations presented in the form of diagrams and conclusions confirmed that the used algorithm is useful for optimization of a large water networks.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ГРАФИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ
ДЛЯ ЧАСТИ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЙ ВОДОСНАБЖАЮЩЕЙ СЕТИ

Р е з ю м е

В статье оговорена расчётная процедура для определения оптимального управления в разомкнутой системе, представляющей собой водоснабжающую систему. Решена оптимизационная задача для реальной системы водоснабжения, состоящей из пяти водонасосных станций и четырёх резервуаров воды. Результаты расчётов представлены в виде графика. Выводы подтверждают пригодность применяемого алгоритма для оптимизации больших водопроводных сетей.