

Ryszard Orłowski

KOMPUTEROWA SYMULACJA PRACY POMPOWNI KANALIZACYJNYCH

Spośród różnych typów modeli matematycznych, które mogą mieć zastosowanie do projektowania i sterowania pracą pompowni kanalizacyjnej, można wymienić trzy:

Modele statyczne, stosowane dla określenia punktów pracy pompowni w różnych sytuacjach typowych. Rozwiązanie tych modeli sprowadza się do określania współrzędnych punktów przecięcia się odpowiednich charakterystyk pomp i rurociągów [1].

Modele dynamiczne, służące do symulacji przebiegu pracy pompowni w czasie, traktujące pompownię jako obiekt dynamiczny o stałych skupionych [2]. Równanie stanu dla takiego obiektu ma postać:

$$\dot{x} = f(x, m, z) \quad (1)$$

gdzie:

x — wektor współrzędnych stanu; w przypadku pompowni kanalizacyjnej opisuje proces wahań zwierciadła ścieków w zbiorniku czerpalnym,

m — wektor wielkości wejściowych sterujących (sterowalnych), inaczej wektor zmiennych decyzyjnych; w przypadku pompowni kanalizacyjnej jest to zbiór zasad niezbędnych ograniczeń i doraźnych decyzji, które sterują pracą pompowni,

z — wektor wielkości wejściowych (zakłcających); opisuje przebieg natężenia dopływu ścieków do pompowni w czasie.

Równanie bilansu ścieków w zbiorniku pompowni jest równaniem różniczkowym zwyczajnym z losową funkcją wymuszającą — natężeniem dopływu ścieków do pompowni. Komputerowa symulacja pracy pompowni w czasie, oparta o tak opisany model matematyczny, prowadzona przy zadanym przebiegu natężenia dopływu ścieków do pompowni i przy określonym przez wektor (m) sterowaniu, umożliwia ciągłą „obserwację” pracy dowolnej pompowni drogą eksperymentu numerycznego. W trakcie symulacji wyliczany jest m. in. wskaźnik ekonomiczności pracy pompowni (e), uwzględniający zmienny w czasie pobór energii elektrycznej i różne ceny jednostkowe tej energii w godzinach poboru szczytowego, dziennego i nocnego.

Ponadto omawiana symulacja pracy pompowni umożliwia badanie szeregu istotnych w projektowaniu i eksploatacji czynników związanych z czasem, o charakterze technicznym i ekonomicznym, takich jak:

— liczba godzin pracy poszczególnych zespołów pompowych w ciągu doby (chodzi m. in. o ich równomierne zużywanie się,

— częstotliwość i rytmiczność włączania i wyłączania poszczególnych pomp (ze względu na prawidłową eksploatację elektrycznych silników napędowych i właściwy dobór pojemności roboczej zbiornika wyrównawczego),

— długość przerw w pracy pompowni, (nie powinny być zbyt długie z uwagi na osadzanie się osadów w zbiornikach pompowni kanalizacyjnych),

— rzeczywista średnia sprawność pompowni z pompami sterowanymi dwustawnie oraz z pompami sterowanymi w sposób płynny (czyli o płynnie zmieniającym się wydatku a zatem i sprawności),

— koszty pompowania ścieków, uwzględniające różne ceny energii elektrycznej w godzinach szczytowych, dziennych i nocnych,

— wpływ przebiegu zmiennego w czasie obciążenia pompowni ściekami na wielkość wskaźnika ekonomiczności pracy pompowni (e).

Modele dynamiczne stochastyczne. Ogólnie można powiedzieć, że o ile sama pompownia opisywana jest przy pomocy modeli deterministycznych, o tyle wielkości wyjściowe do modelu matematycznego, takie jak natężenie dopływu ścieków do pompowni, mogą być przyjmowane zarówno w postaci tzw. deterministycznej, tzn. w postaci sekwencji danych wymyślonych lub historycznych, jak i w postaci modelu opisującego stochastyczną strukturę procesów wejściowych. Sposób przyjmowania wielkości wejściowych do modelu determinuje charakter i przydatność uzyskanych wyników symulacji pracy pompowni. I tak określanie procesów wejściowych w sposób deterministyczny jest przydatne głównie na etapie sprawdzania „geometrii” pompowni, w pewnych określonych sytuacjach typowych lub ekstremalnych. Z kolei podejście stochastyczne do procesów wejściowych jest bardziej przydatne w przypadku oceny niezawodności pompowni oraz w przypadku sterowania pompownią, gdyż umożliwia ocenę własności losowych procesów wyjściowych w zależności od takich własności procesów wejściowych, umożliwiając tym samym określenie stopnia dopuszczalnego ryzyka przy podejmowaniu decyzji na etapie projektowania pompowni i podczas sterowania. Sterowanie pracą pompowni polega tu na dynamicznym wyznaczaniu optymalnej trajektorii sterowania w oparciu o optymalizację dynamiczną, z prze-

suwającym się horyzontem optymalizacji z krokiem, dla którego uaktualniane są zarówno prognozy odnośnie wielkości wejściowych, jak i decyzje sterujące [3, 4].

Testowanie modelu matematycznego pompowni

Poniżej omówiono modelowanie matematyczne pracy pompowni w oparciu o modele typu dynamicznego wraz z ich weryfikacją. W oparciu o odpowiednie modele matematyczne skonstruowano programy obliczeniowe na komputer, umożliwiające symulację pracy dwóch grup pompowni:

I — pompowni z pompami sterowanymi dwustawnie (program ROII),

II — pompowni z pompami sterowanymi poprzez płynne zmiany prędkości obrotowej silników napędowych (program RORO).

Praca pompowni grupy I została opisana bardziej skomplikowanym modelem matematycznym niż w przypadku pompowni grupy II. Weryfikację przeprowadzono w oparciu o pomiary dokonywane na pompowni ścieków „Stogi” w Gdańsku, na której zainstalowane są dwie pompy robocze. Obliczenia na maszynie cyfrowej przeprowadzono przy pomocy programu obliczeniowego RO II. Weryfikacja polegała na:

— dokonywaniu ciągłych pomiarów wielkości wejściowej, zakłócającej (natężenie dopływu ścieków do pompowni) oraz okres siedmiu kolejnych dni

— mierzeniu w tym samym okresie zużycia energii czynnej przez pompownię; jest to jedna spośród jednoznacznie nawzajem powiązanych wielkości wyjściowych modelu,

— pomierzeniu charakterystyk hydraulicznych dla układów pompy-rurociągi oraz charakterystyk poboru mocy przez agregaty pompowe,

— przeprowadzeniu symulacji pracy pompowni (dla okresu siedmiu kolejnych dni) w oparciu o pomierzony przebieg dopływu do pompowni i pomierzone charakterystyki.

Ponadto przeprowadzono badania czułości modelu matematycznego na warunek początkowy,

dokładność pomiaru i zadawania charakterystyk pomp oraz na wahania poziomów włączania i wyłączania pomp, lecz tylko na te wahania, które nie powodują zmiany kolejności ich pracy. Ostatecznie stwierdzono, że weryfikację modelu matematycznego przeprowadzono z wynikiem pozytywnym, to znaczy, że program RO II może służyć do symulacji pracy pompowni i do wyznaczania wartości wielkości, charakteryzujących pracę pompowni pod względem technicznym i ekonomicznym z dużą dokładnością. Wielkości te, to przede wszystkim ilość i koszt pobranej przez agregaty pompowe energii elektrycznej w dowolnym rozpatrywanym przedziale czasu, a także ilość ścieków przepompowanych w tym przedziale czasu.

Skonstruowane programy obliczeniowe posłużyły do przeprowadzenia serii eksperymentów numerycznych. Eksperymenty numeryczne obejmowały 118 symulacji pracy różnych przypadków pompowni. Czas symulacji — jedna doba. Przeprowadzono 88 symulacji pracy pompowni I grupy i 30 symulacji pracy pompowni II grupy. Przypadki odpowiednio dobrano i usystematyzowano, aby metodą przeglądu wariantów i systematycznego przeszukiwania wyciągnąć wnioski, dotyczące wymienionych już czynników związanych z czasem, charakteryzujących pracę pompowni i mających istotne znaczenie w projektowaniu i eksploatacji tych obiektów. Rozpatrywano pompownie o wydajnościach: 8000 m³/d, 30 000 m³/d, i 100 000 m³/d.

W kolejnych symulacjach przyjmowano dla każdej pompowni różną liczbę pomp roboczych (1, 2 lub 3), przy czym obliczenia sprawdzano dla pomp o różnych strumieniach charakterystyk oraz przy jednym rurociągu tłocznym i przy większej liczbie roboczych rurociągów tłocznych, włączanych kolejno w miarę włączania kolejnych pomp. Każdy z rozpatrywanych przypadków sprawdzany był dla czterech różnych prognoz, zmiennego w ciągu doby obciążenia pompowni ściekami. Poszczególne prognozy różniły się między sobą przebiegiem i wielkością wahań natężenia dopływu ścieków w czasie.

LITERATURA

1. R. ORŁOWSKI: Przegląd operacji dokonywanych na charakterystykach przy doborze pomp. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1982, 8, s. 135—137.
2. R. ORŁOWSKI: Analiza wariantów rozwiązań pompowni kanalizacyjnych oparta o dynamiczną symulację ich pracy. Archiwum Hydrotechniki, nr 3/4, 1985.

3. H. SŁOTA: Sterowanie wielozbiornikowymi systemami wodnogospodarczymi. IMGW, Warszawa 1983 (materiały niepublikowane).

4. P. KOWALIK, R. ORŁOWSKI i in.: Zalecenia eksploatacyjne i konserwacyjne dla polderu Fiszewka-S, warunkujące maksymalizację efektów produkcyjnych. Wyd. Hydrot. Polit. Gd., Gdańsk 1985 (materiały niepublikowane).

R. Orłowski

ANALYZING THE OPERATION OF VARIOUS SEWAGE PUMPING PLANTS BY COMPUTER SIMULATION

Sewage pumping plants are classified as dynamic objects of lumped constants. The mathematical models given in this paper incorporate the equation of flow continuity for the pumping station tank, as well as the variability of discharge, delivery head, efficiency and real power supplied to particular driving motors.

Making use of these models, computer programs for simulating the operation of arbitrarily designed and arbitrarily controlled pumping stations are developed. Simulation is carried out at time-variable sewage inflow. The validity of the computer programs has been verified to determine the response of the model to parameter variations. The sewage pumping plants under study varied in size, in the number and characteristics of the pumps involved, or in the number of delivery pipes. The data obtained may be a useful tool for the design or management of pumping systems.