ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1981

Seria : AUTOMATYKA z.60 Nr kol.

Andrzej URBANIAK
Politechnika Poznańska
Instytut Automatyki

MODEL STEROWANIA ROZWOJEM SYSTEMU ZAOPATRZENIA W WODĘ

Streszczenie: W pracy przedstawiono model rozwoju systemu zaopatrzenia w wodę w ujęciu teorii sterowania systemem rozwoju. Podano definicję rozwoju systemu i omówiono jej charakterystyczne elementy. Ogólne sformułowanie problemu sterowania rozwojem systemu odniesiono do przykładowego modelu systemu zaopatrzenia w wodę.

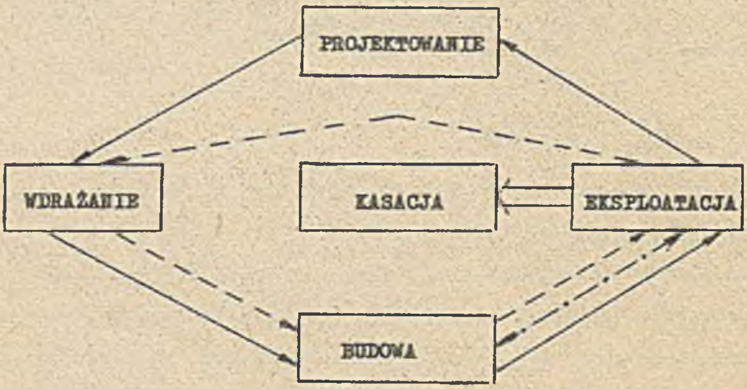
1. Wstęp

W praktyce projektowania różnych systemów służących do zaspokajania podstawowych potrzeb ludności, przemysłu i rolnictwa / np. dostarczanie energii elektrycznej, gazu, wody użytkowej lub zapewnienie przewozu osób i towarów/ występuje często konieczność rozbudowy istniejących systemów wytwarzania i dystrybucji zasobów. Rozbudowa tych systemów musi uwzględniać charakterystyki istniejących obiektów systemu oraz zapewnić realizację procesu rozbudowy, przy spełnieniu extremum założonego kryterium . Proces rozbudowy istniejącego systemu można rozpatrywać na gruncie teorii systemów rozwoju [4]. System zaopatrzenie w wodę należy do pewnej klasy systemów, dla których można podać jednolity opis procesu rozwoju i jego optymalizacji [2,3]. W pracy podjęto próbę ogólnego opisu problemu sterowania rozwojem systemu zaopatrzenia w wodę, ilustrując podejście analizą wybranego modelu rozwoju tego systemu [5]. W rozdziale 2 omówiono definicję rozwoju systemu oraz jego charakterystyczne kierunki. Rozdział 3 zawiera odniesienie ogólnych uwag do systemu zaopatrzenia w wodę. W rozdziale 4 sformułowano wnioski i uwagi końcowe dotyczące kierunków dalszych badań.

2. Definicja rozwoju systemu

Dla celów oceny rozwoju systemu określimy najpierw pojęcie systemu [4]. Systemem dla realizacji zadania Z nazywamy zbiór $\mathcal{E}$ elementów $E_1(W_1)$, $E_2(W_2),\ldots,E_n(W_n)$ powiązanych ze sobą według pewnych prawidłowości, między którymi zachodzą relacje $R_1(W),R_2(W),\ldots,R_n(W) \in \mathcal{R}$ rozpatrywane w czasie $\Delta\theta = \theta_k - \theta_p$, gdzie W jest zbiorem wielkości systemu a $W_1,W_2,\ldots,W_n$ stanowią podzbiory zbioru W.

Historię systemu opisują następujące fazy: projektowanie, wdrażanie, budowa, eksploatacja i kasacja. Systemy rozwijające się /rozwój systemu/ charakteryzuje cykliczność występowania poszczególnych faz. Możliwe cykle rozwojowe systemu zaznaczono schematycznie na rys.1.



Rys.1 Schemat cykli rozwojowych systemu

Proces rozwoju systemu może polegać na:

- zmianie relacji ze zbioru $\mathcal{R}$ relacji w poszczególnych fazach rozwoju,
- zmianie liczby elementów systemu.

Pierwszy sposób jest charakterystyczny dla systemu rozwijającego się parametrycznie, a drugi dla systemu rozwijającego się strukturalnie. Najczęściej spotykamy systemy o rozwoju parametryczno-strukturalnym.

Każdy system opisany jest za pomocą charakterystyk, których argumentami są wielkości zbioru W oraz czas θ w sensie długim jako zmienna niezależna procesu rozwoju. Charakterystyki systemu oznaczymy przez $H_i(W,\theta)$ dla $i = 1,2,\ldots,n$.

Przyjmuje się również dla każdego systemu funkcję wygody $F(W,\theta)$ oraz wybiera się spośród zbioru charakterystyk H podzbiór f, którego elementy występują jako funkcje oceny systemu.

Model systemu opisany jest za pomocą zbiorów W_o, H_o, f_o oraz założoną wartość funkcji wygody F_o. Miarą rozwoju systemu jest wynik porównania modelowej F_o z rzeczywistą wartością funkcji wygody F.

$$\Delta F(W,\theta) = \left| F_o(W_o,\theta) - F(W,\theta) \right| . \tag{1}$$

Zagadnienie globalnej optymalizacji systemu sprowadza się do wyboru zbioru wielkości optymalizowanych U ze zbioru wielkości charakterystycznych W, aby spełniony był warunek

$$\Delta F(W,\theta) = \min_{U \in W} \left| \Delta F(U,\theta) \right| = \min_{U \in W} \left| F_o(W_o,\theta) - F(U,\theta) \right| . \tag{2}$$

Analiza wyrażenia (2) prowadzi do trzech charakterystycznych przypadków:

1° $\Delta F(W,\theta) = \left| F_o(W_o,\theta) - \text{const} \right|$.

Rzeczywiste obiekty systemu pozostają stałe, natomiast zmienia się model systemu z uwagi na ingerencję otoczenia w przedziale czasu (θ_p, θ_k), gdzie θ_p oznacza początek a θ_k koniec rozpatrywanego przedziału czasu.

2° $\Delta F(W,\theta) = \left| \text{const} - F(W,\theta) \right|$.

W przedziale czasu (θ_p, θ_k) model pozostaje stały, natomiast wskutek ingerencji użytkownika poprawiany jest przebieg zjawiska naturalnego.

3° $\Delta F(W,\theta) = \left| F_o(W_o,\theta) - F(W,\theta) \right|$.

W przedziale czasu (θ_p, θ_k) zmienia się model systemu oraz przebieg zjawiska naturalnego. Oznacza to występowanie w przestrzeni euklidesowej dwóch ruchomych punktów, z których pierwszym F_o „ucieka" przed punktem F.

Z matematycznego punktu widzenia występują tu dwa zagadnienia:

- optymalizacji drogi,
- optymalizacji czasu maksymalnego zbliżenia F do F_o.

Przypadek 3° jest charakterystyczny dla systemu rozwijającego się. Realizacja takiego działania, przeniesiona na wszystkie fazy historii systemu, nosi nazwę <u>rozwoju systemu</u>.

W praktyce doskonalenie systemu ma charakter etapowy i realizowane jest w T przedziałach czasowych wypełniających horyzont rozwoju (θ_p, θ_k).

3. Sterowanie rozwojem systemu zaopatrzenia w wodę

3.1. Założenia

Zajmiemy się systemem zaopatrzenia w wodę składającym się z pewnej liczby źródeł zasilania i powiązanych z nimi stacjami uzdatniania wody oraz z pewnej liczby odbiorów wody.
Zadanie systemu polega na zapewnieniu określonej ilości wody z istniejących źródeł, należących do zbioru $\mathcal{E}_t$. Każdy element zbioru $\mathcal{E}_t$ opisany jest zbiorem wielkości charakterystycznych W, do którego należą: rodzaj źródła, wydajność źródła, jakość wody uzyskiwanej ze źródła, charakter obróbki w stacji uzdatniania, sprawność oraz wielkości charakteryzujące sposób pracy źródła.

Relacje zachodzące między elementami systemu określone są głównie przez powiązania źródeł z odbiorami oraz poprzez różne ograniczenia techniczno-ekonomiczne procesu zaopatrzenia w wodę.

Proces rozwoju systemu zaopatrzenia w wodę będzie polegał na zmianie udziału poszczególnych źródeł w zasilaniu danych odbiorów /rozwój parametryczny/ oraz na dostawianiu elementów systemu do istniejącego systemu /rozwój strukturalny/. Łatwo zauważyć różny charakter obu procesów rozwoju. Rozwój parametryczny ma z założenia charakter ciągły, natomiast rozwój strukturalny jest z natury dyskretny.

3.2. Opis formalny modelu

Rozpatrzymy model rozwoju systemu zaopatrzenia w wodę, przy czym zadanie systemu określone jest funkcją wymagań $q(t)$ [1]. W naszym wypadku funkcja ta będzie funkcją schodkową, określającą wartości zapotrzebowania na wodę dla kolejnych etapów rozwoju $t = 0,1,2,\dots,T$.
Naturalne podejście do problemu pozwala sformułować dwa problemy cząstkowe. Pierwszy z nich opisany jest modelem zasilania i dotyczy sformułowania zadania z punktu widzenia systemu pozyskania, przetworzenia i transportu wody do odbiorców, przy minimalnych nakładach. Drugi problem określa się w oparciu o stanowisko użytkowników systemu, to znaczy, że zależy nam na zaspokojeniu potrzeb odbiorców wody, przy kryterium maksymalizacji zysku z użytkowania wody. Jest to tzw. model wymagań.

Omówimy najpierw model zasilania w wodę. Zakładamy, że istnieje N projektów /sposobów/ zaspokojenia potrzeb odbiorców i z każdym projektem związana jest wydajność Q_i oraz początkowy koszt inwestycyjny C_i. Stałe koszty eksploatacyjne określone są przez współczynnik a_i, natomiast przez b_i jednostkowe koszty eksploatacyjne zmienne. Uwzględniając rozkład czasowy kosztów inwestycyjnych oraz łącząc koszty inwestycyjne ze stałymi kosztami eksploatacyjnymi, otrzymamy

$$C_{it} = C_i(1+r)^{-t} + \sum_{\tau=t}^{T} a_i(1+r)^{-\tau}, \qquad (3)$$

gdzie r jest stopą dyskonta.

Oznaczając przez y_{it} wielkość wyjściową uzyskaną z i-tego projektu otrzymamy zapis formalny modelu zasilania w następującej postaci.

Funkcja celu

$$\min \sum_{t=0}^{T} \sum_{i=1}^{N} \left[C_{it}\, z_{it} + b_i(1+r)^{-t}\, y_{it} \right] \qquad (4)$$

Ograniczenia:

- zasilania

$$\sum_{i=1}^{N} y_{it} \geq q(t), \quad t = 0,1,2,\ldots,T, \qquad (5)$$

- wydajności

$$0 \leq y_{it} \leq Q_i\left(\sum_{\tau=0}^{t} z_{i\tau}\right), \quad i=1,2,\ldots,N, \quad t=0,1,2,\ldots,T, \qquad (6)$$

- konstrukcyjne modelu

$$\sum_{i=1}^{N} z_{it} \leq 1 \qquad t=0,1,2,\ldots,T; \quad z_{it} \in \{0,1\}, \qquad (7)$$

gdzie z_{it} jest zmienną decyzyjną określającą zmiany struktury systemu. Łatwo zauważyć, że model ten jest modelem mieszanym, zawierającym zmienne ciągłe y_{it} oraz dyskretne z_{it}. W wielu pracach spotyka się podejście zawierające się w powyższym sformułowaniu lub rozszerzające je głównie w zakresie zbioru relacji ograniczających [5]. Zadanie systemu zostało w podanym sformułowaniu zapisane w formie zależności (5).

Przejdźmy obecnie do omówienia modelu wymagań [1]. Zakłada się znajomość funkcji $f(q(t))$ opisującej całkowity zysk z wykorzystania możliwych źródeł w danym etapie t. Zdyskontowana wartość zysku za okres od etapu 0 do t wyniesie

$$B(t) = \sum_{\tau=0}^{t} f(q(\tau))\ (1+r)^{-\tau}. \tag{8}$$

Rejon odbiorców podzielono na sektory scharakteryzowane przez wartość poboru wody i opisane za pomocą wektora

$$X(t) = \left(x_1(t), x_2(t), \ldots, x_l(t)\right),$$

dla każdego etapu t.

Przyjmuje się, że funkcja celu określająca zysk z użytkowania wody w całym rejonie opisana jest zależnością liniową postaci

$$\max \sum_{t=0}^{T} \sum_{j=1}^{l} v_j(t) x_j(t) (1+r)^{-t}, \tag{9}$$

gdzie:

$v_j(t)$ - współczynnik wartości zysku dla j-tego sektora w etapie t,

l - liczba sektorów.

Zależności ograniczające możemy zapisać w skróconej wektorowej postaci.

$$\left.\begin{array}{l} (I - A^R)\, X(t) \leq Y_U(t) \\ (I - A^R)\, X(t) \geq Y_L(t) \\ Z(t)\, X(t) \leq q(t) \\ X(t) \geq 0 \end{array}\right\} \quad t = 0,1,2,\ldots,T, \tag{10}$$

gdzie:

$A^R = [a^R_{ij}]$ - macierz współczynników technicznych rejonu,

I - macierz jednostkowa,

$Y_U(t)$ - wektor górnych granic zużycia wody w etapie t,

$Y_L(t)$ - wektor dolnych granic zużycia wody w etapie t,

$Z(t)$ - wektor współczynników wykorzystania wody w etapie t.

Pierwsze dwie nierówności w zależności (10) określają wymagania poziomu zaspokojenia zapotrzebowania na wodę. Trzecia nierówność zapewnia realizowalność wymagań z punktu widzenia produkcji $q(t)$ systemu zasilania. Podany model wymagań można traktować jako zadanie optymalizacji, dla którego poszukuje się efektywnych rozwiązań [5].

Interesujące wydaje się jednak podejście traktujące oba modele jako problemy cząstkowe, dla których chcemy uzyskać rozwiązanie kompromisowe.

Jest to problem koordynacji dwóch zadań optymalizacyjnych o konfliktowych funkcjach celu, którego sposób rozwiązania podano w pracy [1].
Funkcję wygody systemu stanowi tu zysk netto z użytkowania wody, tzn. zysk wyznaczony według zależności (9) i pomniejszony o nakłady na rozwój i eksploatację systemu.
Zbiór relacji $\mathcal{R}$ zawiera w sobie zależności sformułowane dla obu modeli, natomiast zależnością koordynacyjną jest funkcja zasilania /wymagań/ q(t).

4. Uwagi końcowe i wnioski

Mając na uwadze główny cel pracy, tzn. ukazanie problemu sterowania rozwojem systemu zaopatrzenia w wodę na tle ogólnej teorii systemów rozwoju, nasuwają się następujące uwagi i wnioski.

1° Modele rozwoju systemów zaopatrzenia w wodę formułowane są rzadko a ich opis jest niejednolity. Potwierdzają to w szczególności badania literaturowe zebrane w pracy [5].

2° Potrzeba opisu problemów rozwoju systemów zaopatrzenia w wodę w kategoriach teorii systemów rozwoju wynika, zdaniem autora, z dwóch faktów. Z jednej strony jest to dążenie do kompleksowego ujmowania problemu, a z drugiej ujednolicenie opisu problemu i metod jego rozwiązania.

3° Opisany przykład modelu daje się zinterpretować w ujęciu teorii systemów rozwoju i zawiera wszystkie jego charakterystyczne elementy.

4° Istnieje potrzeba przeprowadzenia szerszej analizy zbioru relacji $\mathcal{R}$ oraz wyszczególnienie jego charakterystycznych podzbiorów wraz z przykładami relacji występującymi w systemach zaopatrzenia w wodę.

5° W zakresie metod rozwiązywania rozpatrywanych problemów mogą wystąpić trudności w uzyskaniu efektywnych rozwiązań dla modeli „mieszanych", stąd też może pojawić się konieczność unifikacji charakteru modelu.

Zebrane uwagi w niewielkim stopniu formułują istotne pytania odnośnie do dalszych badań. Wynika to głównie z aktualnego zaawansowania prac w tym zakresie. Wydaje się jednak, iż stanowią one interesujący obszar badawczy z wyraźnym kierunkiem praktycznym i stąd kontynuowanie prac badawczych w tym zakresie jest z pewnością wskazane.

5. Literatura

[1] Haimes Y.Y.,Nainis S.W., Coordination of regional water resource supply and demand planning models, Water Res.Research,vol.10,no.6,1974.

[2] Urbaniak A., Planning the development of a certain class of production systems under uncertainty, JUREMA Proc.23, Part 1, 1978.

[3] Urbaniak A., Optymalizacja rozwoju pewnej klasy systemów w warunkach stochastycznych, Konf. „Cybernetyka w gospodarce morskiej", WSM w Gdyni wrzesień, 1979.

[4] Ziemba S.,Jarominek W.,Staniszewski R., Problemy teorii systemów, Wyd. PAN, Ossolineum, Wrocław 1980.

[5] Opracowanie Instytutu Automatyki Politechniki Poznańskiej, Rozpoznanie i krytyczna ocena aktualnego stanu badań w zakresie sterowania rozwojem systemów zaopatrzenia w wodę, nr 80011, Poznań 1980.

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В настоящей работе представлена модель развития системы водоснабжения как общая проблема теории управления системами развития. В работе подано определение развития системы и её характеристические компоненты. Общая формулировка задачи управления развитием системы отнесена к конкретной модели системы водоснабжения.

MODEL OF EXPANSION CONTROL OF A WATER SUPPLY SYSTEM

In this paper a model of expansion control of a water supply system is formulated in terms of the development systems theory. For this purpose, specyfic elements of the development system are defined and practically interpreted.