

Janina SZEBESZCZYK
Instytut Automatyki
Politechnika Śląska

KONCEPCJA STEROWANIA PRACĄ STACJI

UZDATNIANIA WODY

Streszczenie: W artykule przedstawiono koncepcję zastosowania dwupoziomowego, trójwarstwowego układu sterowania pracą stacji uzdatniania wody. Sformułowano optymalizowany wskaźnik jakości i określono występujące ograniczenia.

1. Wstęp

Układ sterowania pracą stacji uzdatniania wody /SUW/ wchodzi w skład układu sterowania systemem zaopatrzenia w wodę miasta lub aglomeracji. W koncepcji układu sterowania systemem zaopatrzenia w wodę aglomeracji miejsko-przemysłowych Śląska przyjęty został hierarchiczny, 4- poziomowy układ sterowania [1]. Zgodnie z tą koncepcją sterowanie stacją uzdatniania wody realizowane jest przez poziomy I i II, natomiast punkt pracy SUW w zadanym przedziale czasu określa poziom III.

2-poziomowa struktura układu sterowania pracą SUW wynika z dekompozycji zadania sterowania całym obiektem /poziom II/ na zadania sterowania poszczególnymi urządzeniami lub grupami urządzeń /poziom I/. Parametrem wiodącym i zmienną koordynacyjną jest wydajność SUW w zadanym przedziale czasu.

2. Opis technologiczny obiektu

W stacjach uzdatniania wody na terenie GOP-u stosowane są nastę-

pujące technologie [2] :

1. Szybkie i wolne mieszanie, sedymentacja w osadnikach, filtracja w filtrach pospiesznych.
2. Klarowanie metodą osadzania adsorbcyjnego, filtracja w filtrach pospiesznych.
3. Koagulacja i filtracja w filtrach kontaktowych.

W artykule zostanie przedstawiona koncepcja układu sterowania pracą SUW z filtrami kontaktowymi.

Główny ciąg technologiczny rozpatrywanego obiektu zawiera następujące grupy urządzeń:

- pompownię wody surowej,
- zbiorniki wstępnego oczyszczania,
- filtry kontaktowe,
- zbiornik wody czystej,
- pompownię wody czystej.

Urządzeniami współpracującymi z głównym ciągiem produkcji wody są:

- urządzenia przygotowania i dozowania koagulantów,
- pompownia wody płucznej,
- chlorownia.

Pompy wody surowej /pracujące w układzie równoległym/ tłoczą wodę z ujęcia do zbiorników wstępnego oczyszczania. Poprzez zastosowanie przelewów obiegowych w zbiornikach tych utrzymywany jest stały poziom. Oczyszczona wstępnie woda spływa grawitacyjnie na filtry kontaktowe. Koagulanty dozowane są do wody surowej przed filtrami. Przefiltrowana woda wpływa do zbiornika wody czystej. Do rurociągów wody czystej przed wlotem do zbiornika doprowadzany jest chlor. Do płukania filtrów stosuje się wodę uzdatnioną, pobieraną przez pompy wody płuczającej ze zbiornika wody czystej. Zbiornik wody czystej zasila pompownię wody czystej, która tłoczy produkowaną wodę do sieci rozdzielczej. Podobnie jak pompy wody surowej, pompy wody czystej pracują w układzie równoległym.

3. Struktura układu sterowania pracą SUW

Celem optymalnego sterowania jest pokrycie zapotrzebowania odbiorców przy minimalnym koszcie pracy SUW w zadanym przedziale czasu. Wartości zadane produkcji określone są dla każdej ze stacji uzdatniania wody na poziomie III przy uwzględnieniu:

- prognoz i aktualnego stanu systemu wodno-gospodarczego,
- średnich kosztów produkcji 1 m^3 wody w poszczególnych obiektach.

Przewiduje się wyznaczanie przez poziom III czasowych przebiegów produkcji SUW w okresach: dobowym, tygodniowym i miesięcznym.

Schemat struktury optymalnego sterowania pracą SUW przedstawiono na rys. 1.

Przez wprowadzenie podziału czynności sterowania powstaje trójwarstwowy układ sterowania, zawierający warstwy: adaptacji, optymalizacji i sterowania bezpośredniego [3] .

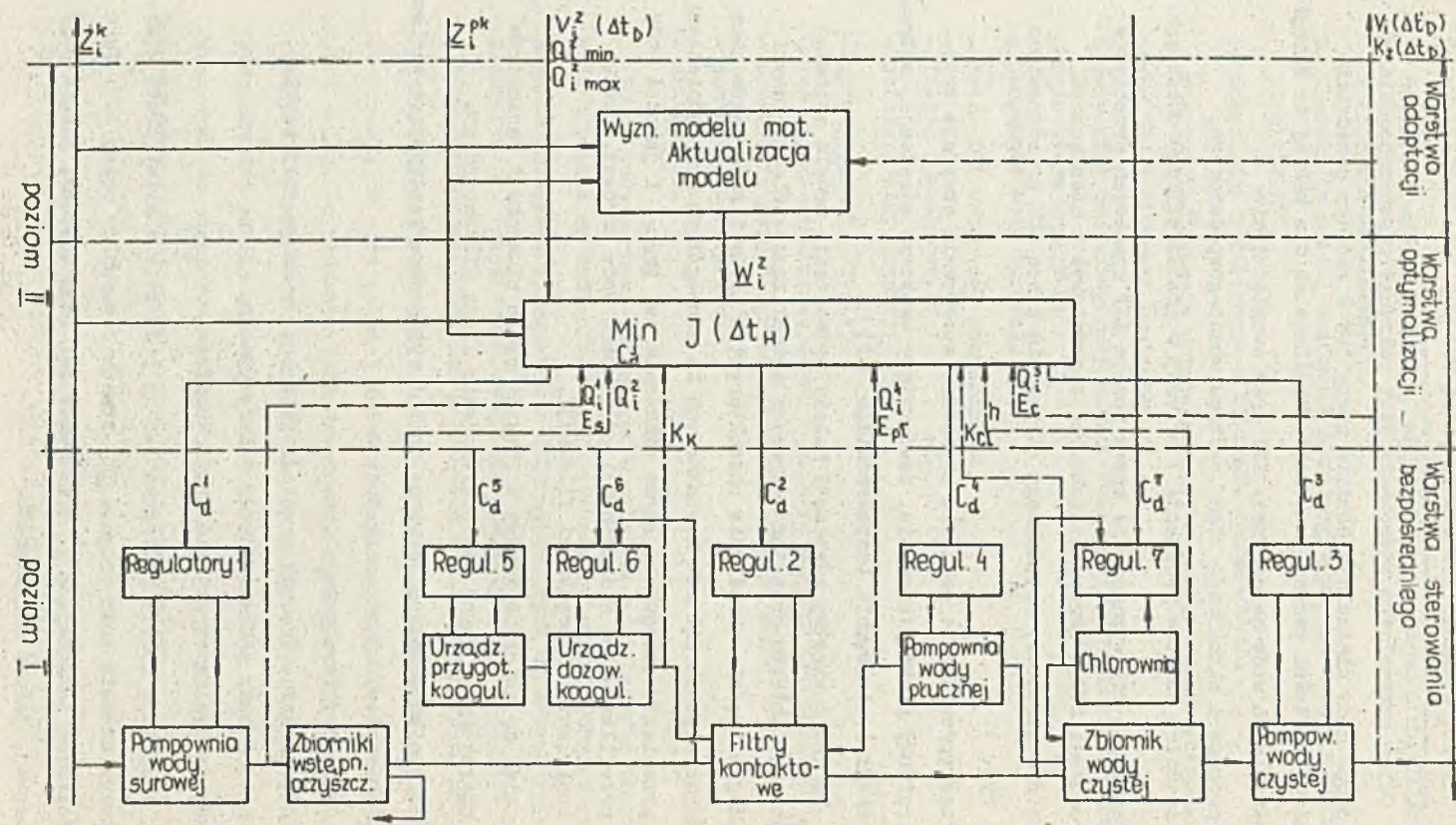
Do zadań warstwy adaptacji należy wyznaczanie modelu matematycznego obiektu oraz jego okresowa aktualizacja. Między innymi wymagane będzie określanie charakterystyk pomp i rurociągów oraz charakterystyk filtrów kontaktowych ze szczególnym uwzględnieniem:

- przebiegów czasowych: strat ciśnienia na złożu i jakości wody przefiltrowanej w zależności od jakości wody surowej, dawek koagulantów i prędkości filtracji,
- zmian mętności popłuczyn w funkcji czasu płukania i parametrów charakteryzujących zanieczyszczenie złoża filtracyjnego.

W wyniku adaptacji powinny zostać wyznaczone następujące wielkości W_1^Z charakteryzujące pracę SUW:

- długość filterocyklu,
- dopuszczalna średnia prędkość filtracji w danym filterocyklu,
- średni czas płukania złoża filtracyjnego,
- dopuszczalne straty ciśnienia na złożu.

Adaptację należy przeprowadzać na podstawie analizy pracy w minionym okresie oraz prognoz Z_1^{pk} stanów i warunków pracy SUW. Jako wielkości zakłócające Z_1^k traktowane są: stan zasobów, jakość wody surowej, jakość koagulantów.



Rys. 1. Schemat struktury optymalnego sterowania pracą SUW
 Sterowania oznaczono linią ciągłą. Informacje przekazywane do warstw wyższych oznaczono linią przerywaną

Warstwa optymalizacji realizuje zadanie minimalizacji kosztu produkcji 1 m^3 wody w zadanym przedziale czasu. Całkowity koszt produkcji wody stanowi sumę kosztów stałych i kosztów zmiennych. W skład kosztów stałych /niezależnych od sposobu prowadzenia procesu/ wchodzi: amortyzacja instalacji technologicznej, fundusz płac, koszty: magazynowania materiałów, konserwacji urządzeń, oświetlenia zakładu itp.

Koszty zmienne obejmują koszty zużywanych w procesie surowców i energii. Koszty te mogą podlegać minimalizacji, ponieważ ich wielkość zależy od sposobu prowadzenia procesu. Surowcami stosowanymi w procesie produkcji wody są koagulanty i środki dezynfekujące /chlor/. Wielkości dawek koagulantów zależą od jakości wody surowej i można je wyznaczyć poza systemem sterowania. Dawka chloru powinna zostać określona na poziomie III. Zużycie energii przez SUW wynika w głównej mierze z pracy pompowni: wody surowej, wody czystej i wody płucznej.

Na podstawie minimalizacji wskaźnika kosztów $J / \Delta t_H /$ w warstwie optymalizacji powinny zostać wyznaczone harmonogramy pracy stacji filtrów oraz pompowni: wody surowej, wody czystej, wody płucznej

$$J / \Delta t_H / = \frac{K_z / \Delta t_H /}{V / \Delta t_H /} \quad /1/$$

gdzie:

Δt_H - horyzont optymalizacji,

$K_z / \Delta t_H /$ - koszt zmienny pracy SUW w okresie Δt_H ,

$V / \Delta t_H /$ - wielkość produkcji SUW " " " .

Wymagane jest spełnienie następujących ograniczeń:

$$\int_{t_0}^{t_0 + \Delta t_D} Q_1^3 / t / dt = V_1^2 / \Delta t_D / \quad /2/$$

$$Q_{1 \min}^z \leq Q_1^z / t / \leq Q_{1 \max}^z \quad /3/$$

$$Q_1^2 / t/ - Q_1^3 / t/ - Q_1^4 / t/ = h = h_{10} + A \frac{dh}{dt} \quad /4/$$

$$h_{\min} \leq h \leq h_{\max} \quad /5/$$

$$Q_1^1 / t/ \geq Q_1^2 / t/ \quad /6/$$

$$\int_{t_0}^{t_0 + \Delta t_D} Q_1^2 / t/ dt \geq V_1^Z / \Delta t_D / + n \cdot V_{p1} \frac{\Delta t_f}{\Delta t_D} \quad /7/$$

$$Q_1^2 / t/ = n_1 Q_{1F} / t/ \quad /8/$$

$$n_{1\min} \leq n_1 \leq n_{\max} \quad /9/$$

$$0 \leq Q_{1F} / t/ \leq Q_{F\max} \quad /10/$$

$$\frac{1}{\Delta t_D} \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t_D} Q_{1F} / t/ dt \leq Q_{1FS} \quad /11/$$

gdzie:

$$\Delta t_D = 24 \text{ [h]},$$

n - liczba pracujących filtrów,

A - zastępcze pole podstawy zbiornika wody czystej [m^2],

Q_1^1 - wydajność pompowni wody surowej [$\frac{m^3}{h}$],

Q_1^2 - " stacji filtrów [$\frac{m^3}{h}$],

Q_1^3 - " pompowni wody czystej [$\frac{m^3}{h}$],

Q_1^4 - " " " płucznej [$\frac{m^3}{h}$],

$V_1^Z / \Delta t_D /$ - zadana wartość produkcji dobowej SUW [m^3],

Q_{1F} - wydajność jednej komory filtracyjnej [$\frac{m^3}{h}$],

$Q_{F\max}$ - maksymalna dopuszczalna wydajność komory filtracyjnej [$\frac{m^3}{h}$],

Q_{1FS} - dobowo średnia dopuszczalna wydajność komory filtracyjnej [$\frac{m^3}{h}$],

Δt_f - długość filtrocycłu,

$V_{pł}$ - zużycie wody na płukanie jednej komory filtracyjnej $[m^3]$,

h - poziom w zbiorniku wody czystej $[m]$,

$Q_{i\min}^z, Q_{i\max}^z$ - minimalna i maksymalna wartość zadana wydajności SUW $[m^3/h]$,

i - wskaźnik określający i-tą dobę.

Ze względu na średnią długość filtrocycłu $/24-48 h /$, tygodniową cykliczność zmian zapotrzebowania na wodę oraz możliwości prognozowania zmian jakości wody surowej jako horyzont optymalizacji

Δt_H można przyjąć okres 1 tygodnia.

Optymalne dobowe harmonogramy pracy pompowni: wody surowej, wody czystej i stacji filtrów powinny zostać wyznaczone przy uwzględnieniu zróżnicowania cen energii elektrycznej w ciągu doby.

Zużycie energii przez pompy jest uzależnione od wydajności pomp oraz od sposobu sterowania ich pracą. Regulacja wydajności pomp może zostać przeprowadzona za pomocą:

- regulacji prędkości obrotowej,
- dławienia,
- pracy pomp w reżimie "załącz - wyłącz".

Ze względu na okresowość poborów wody do płukania filtrów można przyjąć, że pompy wody płucznej pracują w reżimie "załącz - wyłącz".

Dla pompowni wody surowej i pompowni wody czystej należy dobrać takie, możliwe ze względów technologicznych do realizacji, metody regulacji wydajności, które w określonym zakresie wydajności pompowni zapewniają minimalne wartości dobowych wskaźników kosztów pompowania J_{ps} i J_{pc} .

$$J_{ps} / \Delta t_D / = \frac{\sum_{l=1}^m E_s / \Delta t_l / - k_E / \Delta t_l /}{v_s / \Delta t_D /} \quad /12/$$

$$J_{pc} / \Delta t_D / = \frac{\sum_{l=1}^m E_c / \Delta t_l / + k_E / \Delta t_l /}{v_c / \Delta t_D /} \quad /13/$$

$$\sum_{i=1}^m \Delta t_i = \Delta t_D$$

gdzie:

$J_{ps} / \Delta t_D /$ - dobowy wskaźnik kosztów pompowni wody surowej
[zł/m³ H₂O],

$J_{pc} / \Delta t_D /$ - dobowy wskaźnik kosztów pompowni wody czystej
[zł/m³ H₂O],

$E_s / \Delta t_i /$ - zużycie energii elektrycznej przez pompownię wody surowej w okresie Δt_i [kWh],

$E_c / \Delta t_i /$ - zużycie energii elektrycznej przez pompownię wody czystej w okresie Δt_i [kWh],

$V_s / \Delta t_D /$ - dobowa produkcja pompowni wody surowej [m³ H₂O],

$V_c / \Delta t_D /$ - " " " " czystej [m³ H₂O],

$k_E / \Delta t_i /$ - jednostkowy koszt energii elektrycznej w okresie Δt_i [zł/kWh].

Zakładając, że:

- długość filtrocyclu jest jednakowa dla wszystkich pracujących komór filtracyjnych,
- średnie zużycie wody do płukania jednej komory filtracyjnej jest stałe,

można stwierdzić, że ilość wody potrzebnej do płukania filtrów w danym przedziale czasu zależy od liczby pracujących filtrów oraz od długości filtrocyclu. Minimalną liczbę filtrów, które powinny pracować w danym przedziale czasu, określa się przy uwzględnieniu:

- wartości zadanej produkcji SUW w tym przedziale czasu,
- długości filtrocyclu,
- dopuszczalnej średniej prędkości filtracji. [5]

Minimalna liczba filtrów pracujących w ciągu 1-tej doby powinna wynosić:

$$n_{i\min} = \frac{V_F / \Delta t_D /}{\Delta t_D \left[Q_{iFS} - \frac{V_{pł} + Q_{iFS} \cdot \Delta t_{pł}}{\Delta t_{fi}} \right]}$$

gdzie:

Δt_{p1} - czas płukania jednej komory filtracyjnej,

$V_F / \Delta t_D$ - dobową produkcja stacji filtrów.

Przy określaniu optymalnej liczby filtrów, które powinny pracować w poszczególnych dniach tygodnia, należy ponadto uwzględnić koszty wynikające z wyłączenia i załączenia filtru na określony czas, warunki współpracy pomp wody surowej i filtrów /wielkość przelewu/ w zależności od liczby pracujących filtrów oraz możliwości buforujące zbiornika wody czystej.

Zadanie warstwy optymalizacji może zostać zrealizowane w następujących dwóch etapach:

1. Określenie optymalnych dobowych harmonogramów pracy stacji filtrów oraz pompowni: wody surowej, wody czystej i wody płucznej w funkcji dobowej produkcji stacji filtrów. Należy uwzględnić wartości produkcji dobowej stacji filtrów z przedziału:

$$V_F / \Delta t_D \in [V_1^z / \Delta t_D + n_{opt} \cdot V_{p1} \cdot \frac{\Delta t_f}{\Delta t_D} - V_{zb}, \\ V_1^z / \Delta t_D + n_{opt} V_{p1} \cdot \frac{\Delta t_f}{\Delta t_D} + V_{zb}]$$

gdzie: V_{zb} - pojemność użytkowa zbiornika wody czystej.

2. Wyznaczenie optymalnego planu produkcji stacji filtrów w poszczególnych dniach tygodnia. Zadanie to można zrealizować, minimalizując tygodniowy wskaźnik kosztu przy wykorzystaniu wyników etapu 1. Optymalny tygodniowy plan produkcji stacji filtrów umożliwia zarazem określenie optymalnych harmonogramów dobowych pompowni wody surowej, pompowni wody płucznej i stacji filtrów. Harmonogramy dobowe pompowni wody czystej należy wyznaczyć przy uwzględnieniu ograniczeń /2/ /3/ /4/ /5/. Wszystkie wymienione harmonogramy powinny być codziennie uaktualniane na okres najbliższych 7 dni.

W wyniku optymalizacji uzyskuje się następujące wartości zadane dla warstwy sterowania bezpośredniego w poszczególnych grupach urządzeń SUW:

1) Pompownia wody surowej i pompownia wody czystej

a/ przy regulacji prędkości obrotowej:

- prędkość obrotowa wirników pomp wody surowej $/c_{d_1}^1/$
- " " " " " czystej $/c_{d_1}^3/$
- liczba pracujących pomp wody surowej $/c_{d_2}^1/$
- " " " " czystej $/c_{d_2}^3/$

b/ przy regulacji dławieniowej

- położenie zaworów regulacyjnych na rurociągach tłocznych pomp wody surowej $/c_{d_3}^1/$
- położenie zaworów regulacyjnych na rurociągach tłocznych pomp wody czystej $/c_{d_3}^3/$
- liczba pracujących pomp wody surowej $/c_{d_2}^1/$
- " " " " czystej $/c_{d_2}^3/$

c/ dla pracy pomp w reżimie załącz - wyłącz:

- czasy pracy pomp wody surowej $/c_{d_4}^1/$
- " " " " czystej $/c_{d_4}^3/$
- liczba pracujących pomp wody surowej $/c_{d_2}^1/$
- " " " " czystej $/c_{d_2}^3/$

2) Pompownia wody płucznej

- liczba pracujących pomp wody płucznej $/c_{d_1}^4/$
- czasy pracy pomp wody płucznej $/c_{d_2}^4/$

3) Filtry kontaktowe

- liczba pracujących komór filtracyjnych $/c_{d_1}^2/$
- wydajność komór filtracyjnych $/c_{d_2}^2/$
- okresy płukania komór filtracyjnych $/c_{d_3}^2/$

Zadaniem warstwy sterowania bezpośredniego jest wypracowanie takich sterowań m^j , aby wielkości wyjściowe urządzeń c^j były zgodne z wartościami zadanymi c_d^j . Wypracowanie wyjść sterujących dla poszczególnych urządzeń SUW realizują odpowiednie regulatory.

Do kolejnych warstw sterowania powinny być przekazywane z warstw niższych i z obiektu zagregatyzowane informacje o przebiegu procesu i kosztach jego prowadzenia. Warstwa optymalizacji powinna uzyskiwać informacje dotyczące bieżących wartości wydajności pompowni wody

surowej i pompowni wody czystej, wydajności stacji filtrów, zużycia energii i surowców oraz dane o zakłóceniach. Do warstwy adaptacji należy przekazywać: wielkość dobowej produkcji SUW, dobowe zużycie energii i surowców oraz dane o wielkościach zakłócających i awariach. Informacje te powinny być również dostarczane na poziom III sterowania systemem zaopatrzenia w wodę.

W Instytucie Automatyki Politechniki Śląskiej prowadzone są aktualnie prace mające na celu przygotowanie do identyfikacji wybranej stacji uzdatniania wody.

Badania zrealizowane w ramach Obozu Naukowego Studentów Wydziału Automatyki i Informatyki [6] umożliwiły przeprowadzenie wstępnego rozpoznania pracy filtrów kontaktowych przy różnych prędkościach filtracji i zmiennej jakości wody surowej.

Przewiduje się, że realizacja przedstawionej koncepcji sterowania pozwoli na lepsze wykorzystanie możliwości produkcyjnych SUW przy jednoczesnym zmniejszeniu kosztów uzdatniania wody.

LITERATURA

- [1]. Konceptcja systemu wodno-gospodarczego. Zadanie PR-7.05.01.14, Opracowanie BBPK w Katowicach i "Hydroprojektu" w Krakowie /niepublikowane/.
- [2]. Janina Szebeszcyk - Stan obecny i możliwości sterowania pracą stacji wodociągowych z uzdatnianiem w systemie wodno-gospodarczym GOP, Gliwice, 1975 /niepublikowane/
- [3]. W. Findeisen - Wielopoziomowe układy sterowania. PWN, 1974.
- [4]. U. Sztwiertnia-Pociąg: Analityczny model matematyczny przepompowni dla potrzeb optymalnego sterowania, Gliwice, 1977 /niepublikowane/

[5] J. Szebeszcyk: Analityczne modele procesów uzdatniania wody.
Gliwice, 1977 /niepublikowane/

[5] Zbieranie danych do identyfikacji procesów technologicznych SUW
dla potrzeb kompleksowego sterowania. Sprawozdanie z Obozu Nauko-
wego Studentów Wydziału Automatyki i Informatyki.
1978. Opiekun naukowy: J. Szebeszcyk /niepublikowane/.

ИДЕЯ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СТАНЦИИ

В статье представлена идея применения двухуровневого, трехлой-
ного управления работой водопроводной станции. Определено оптими-
зованный показатель качества и предложено выступающие ограничения.

THE CONTROL SYSTEM CONCEPTION FOR THE WATER TREATMENT PLANT

The paper presents possibilities of the two-level, three-layer
system using to the water treatment plant control. The optimized
quality index and the constraints are determined.