

Jerzy KUŹNIK  
 INSTYTUT AUTOMATYKI  
 POLITECHNIKA ŚLĄSKA

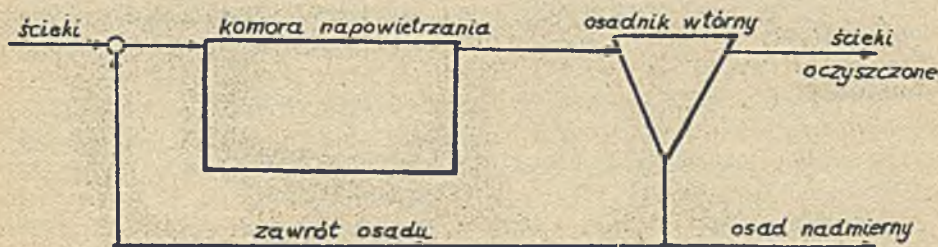
### O NIEKTÓRYCH MOŻLIWOŚCIACH STEROWANIA W OCZYSZCZALNIACH ŚCIEKÓW

**Streszczenie.** Przedstawiono biologiczną oczyszczalnię ścieków jako obiekt sterowania. Opisano niektóre zagadnienia pomiarów i sterowania w oczyszczalniach. Zaproponowano do wstępnej oceny układów sterowania metodę modelowania cyfrowego z wykorzystaniem modelu dynamiki oczyszczalni ścieków.

#### 1. Oczyszczalnia ścieków jako obiekt sterowania

Celem sterowania oczyszczalnią ścieków jest poprawienie jakości i pewności działania urządzeń technologicznych oraz racjonalizacja zatrudnienia i kosztów. Oczyszczanie ścieków przeprowadza się najczęściej w dwu etapach: oczyszczanie mechaniczne i oczyszczanie biologiczne. Dalsze rozważania będą dotyczyć praktycznie tylko oczyszczalni biologicznych. Problemy sterowania w oczyszczalniach mechanicznych są dużo mniejsze. Odpowiednią jakość pracy urządzeń technologicznych oczyszczalni mechanicznej uzyskuje się głównie przez ich właściwy dobór /rodzaj, wymiary/, natomiast pracę ludzką można w nich zaoszczędzić przez zastosowanie prostych układów sterowania programowego lub sekwencyjnego niektórych czynności, jak np. czyszczenie krat i piaskowników.

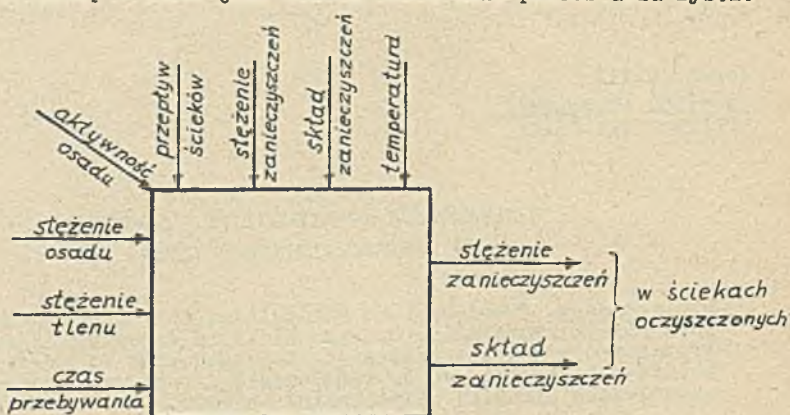
Istotne problemy sterowania występują w oczyszczalni biologicznej z osadem czynnym, przedstawionej schematycznie na rys.1. Celem biologicznego oczyszczania jest jak największe usunięcie ze ścieków biologicznie



Rys.1. Schemat oczyszczalni biologicznej



rozkładalnych substancji mimo występowania zakłóceń, głównie ze strony dopływu ścieków, z których najważniejsze to przepływ ścieków, stężenie zanieczyszczeń w ściekach, skład zanieczyszczeń /trucizny, pH/, temperatura. Oczyszczalnię ścieków jako obiekt sterowania przedstawia rys.2.



Rys.2. Schemat blokowy oczyszczalni

Zmiany przepływu ścieków mogą być bardzo duże /2 - 3-krotnie większe od przepływu nominalnego/. Dla niektórych oczyszczalni mogą mieć charakter cykliczny /głównie przy ściekach komunalnych/ z nałożeniem zmian przypadkowych /opady deszczu/.

Zmiany stężenia zanieczyszczeń mogą być równie duże jak zmiany przepływu i są często z nimi skorelowane.

Zmiany składu zanieczyszczeń powodują zakłócenia wzrostu osadu czynnego i w związku z tym mają wpływ zarówno na pracę komór napowietrzania, jak i osadników wtórnych. Szczególnie groźne są tu zrzuty ścieków przemysłowych. Zmiany temperatury, szczególnie w kierunku niższych wartości, wpływają niekorzystnie na reakcje biochemiczne. Są zależne głównie od zmian temperatury otoczenia.

Inne czynniki mające wpływ na rozkład zanieczyszczeń to: stężenie osadu czynnego, stężenie tlenu rozpuszczonego w ściekach, czas przebywania ścieków w strefie reakcji, aktywność osadu czynnego. Z tych czynników trzy pierwsze można przy spełnieniu odpowiednich wymagań traktować jako możliwe do nastawiania /wielkości sterujące/. Natomiast aktywność osadu czynnego zależy z jednej strony od zakłóceń, np. składu zanieczyszczeń /trucizny/, a z drugiej strony od wieku osadu, na który można wpływać zmianami odciągu osadu nadmiernego. Wielkością wyjściową procesu biologicznego oczyszczania jest oczywiście jakość ścieków oczyszczonych, którą można scharakteryzować przez stężenie zanieczyszczeń i skład zanieczyszczeń na odpływie.



## 2. Pomiary w oczyszczalniach ścieków

By zrealizować jakąkolwiek strategię sterowania oczyszczalnią ścieków trzeba mieć możliwość pomiaru przynajmniej niektórych z wymienionych wyżej wielkości. Pomiary są obecnie chyba najważniejszym czynnikiem ograniczającym możliwości sterowania w oczyszczalniach. Trudności pomiarowe wynikają z braku dogodnych metod pomiarowych dla niektórych wielkości, a także ze szczególnie niekorzystnych warunków panujących w oczyszczalniach /osiadanie zanieczyszczeń na czujnikach, zatykanie przewodów doprowadzających ścieki do komór pomiarowych, korozja/. Problematyce pomiarów w oczyszczalniach poświęcono wiele opracowań, jak np.: [1] [2] [3] [4] [6].

Z wymienionych wyżej wielkości stosunkowo najmniejsze kłopoty sprawiają pomiary przepływów i temperatur, z tym że i dla tych wielkości tylko niektóre metody pomiarowe są przydatne /np. przy przepływach ultradźwiękowe/, a pomiary przepływów w kanałach otwartych mogą już sprawiać znaczniejsze kłopoty.

Bardzo trudne jest obecnie przeprowadzenie dokładnych pomiarów stężenia i składu zanieczyszczeń w ściekach. Ścieki mogą zawierać bardzo dużą liczbę różnorodnych składników. Np. normy określające wymagania odnośnie czystości poszczególnych klas wód powierzchniowych zawierają kilkadziesiąt pozycji. Dlatego dla określenia stężenia zanieczyszczeń używa się często wielkości zastępczych. Historycznym parametrem, nadal zresztą powszechnie używanym, jest BZT<sub>5</sub>. Już sam czas pomiaru tej wielkości, wynoszący pięć dni, przesądza o jej nieprzydatności dla celów sterowania. Ponadto BZT<sub>5</sub> zawiera tlen zużyty zarówno na oddychanie pokarmowe, jak i oddychanie na syntezę oraz oddychanie podstawowe /endogenną respirację/ osadu czynnego. Natomiast bezpośredni związek ze stężeniem biologicznie rozkładalnych zanieczyszczeń ma tylko oddychanie pokarmowe. A więc BZT<sub>5</sub> nie nadaje się nawet do dokładnego określenia stopnia oczyszczania ścieków przez oczyszczalnię [5]. Bardziej przydatne do sterowania, bo wymagające dużo krótszego czasu pomiaru, lecz równie niedokładne są takie wielkości, jak: chemiczne zapotrzebowanie tlenu ChZT i całkowity węgiel organiczny CWO. Wchodzą też w użycie przyrządy półautomatyczne do pomiaru tzw. krótkiego BZT /respirometry/, w których czas pomiaru wynosi ok. 30 min [6].

Równie duże trudności występują przy określeniu własności osadu czynnego, a więc jego stężenia i aktywności. Stosuje się tu także różne wielkości zastępcze. Jedną z nich jest określenie objętości, jaką zajmuje osad czynny po 30 minutach sedymentacji w stosunku do objętości całej próbki. Objętość osadu czynnego ma związek z wiekiem osadu, a więc i jego aktywnością, bo wraz z wiekiem zmieniają się wymiary, a więc i warunki osiadania. Inną wielkością określającą jakość osadu jest jego gęstość. Z kolei ze stosunku objętości osiadania i gęstości otrzymuje się inną często używaną wielkość, zwaną indeksem osadu. Do pomiaru aktywności osadu czynnego można też wykorzystać pomiar krótkiego BZT.



Do określenia stężenia osadu czynnego często używa się tzw. suchej pozostałości. Pomiar tej wielkości jest jednak czasochłonny. Ponadto określenie suchej pozostałości w osadzie, podobnie zresztą jak i poprzednio wspomnianych wielkości, nie pozwala na rozróżnienie substancji organicznych i nieorganicznych oraz biomasy aktywnej i nieaktywnej. Stosunkowo często używaną wielkością zastępczą dla określenia stężenia osadu czynnego jest mętność. Wielkość ta jest szczególnie przydatna do pomiarów dużych stężeń, ponieważ wtedy takie zakłócenia, jak kolor, forma i wielkość zawiesiny osadu mają mniejsze znaczenie. Produkuje się automatyczne mierniki mętności. Mętnościomierze powinny być skalowane indywidualnie dla każdej oczyszczalni. Obecnie próbuje się wykorzystać inne wielkości do określenia właściwości osadu czynnego, jak np. aktywność enzymów czy zawartość kwasów rybonukleinowych [5].

Metoda elektrochemiczna stosowana jest do realizacji automatycznego pomiaru stężenia tlenu rozpuszczonego w mieszaninie ścieków i osadu czynnego znajdującej się w komorze napowietrzania. Wykorzystuje się tu dwa rodzaje przyrządów: z otwartą celką pomiarową, w której ścieki tworzą elektrolit oraz z celką zamkniętą membranami przepuszczającymi tlen i zawierającą określony elektrolit [4],[7]. W przyrządach pierwszego rodzaju duży wpływ na dokładność pomiaru mają chemiczne zanieczyszczenia ścieków. Elektrody w tych przyrządach są czyszczone mechanicznie w czasie eksploatacji, stąd czyszczenie i kontrola może być przeprowadzana co miesiąc. W przyrządach drugiego rodzaju należy czyścić membrany co kilka dni, a wymieniać membrany co kilka miesięcy. Ponadto przyrządy te wymagają prędkości przepływu ścieków ok. 0,3 - 0,5 m/sek.

Wymienione wyżej wielkości mierzone i metody pomiarowe nie wyczerpują oczywiście wszystkich rodzajów pomiarów wykonywanych w oczyszczalniach. Szczególnie duża jest liczba pomiarów analitycznych składu ścieków surowych i oczyszczonych. Nie wspomniano tu też np. o pomiarach tak ważnych wielkości jak pH ścieków lub poziom osadu czynnego w osadniku wtórnym.

### 3. Niektóre możliwości sterowania w oczyszczalniach ścieków

W przypadku braku możliwości sterowania oczyszczalnia powinna być zbudowana na obciążenia zbliżone do maksymalnych, by zapewnić pożądany stopień oczyszczania ścieków. Jest to jednak nieekonomiczne, bo zwiększa koszty inwestycyjne i eksploatacyjne. Należy więc wybrać takie rozwiązanie techniczne oczyszczalni, by mieć możliwość przez sterowanie w istotny sposób zmniejszyć oddziaływanie zakłóceń na stopień oczyszczania ścieków.

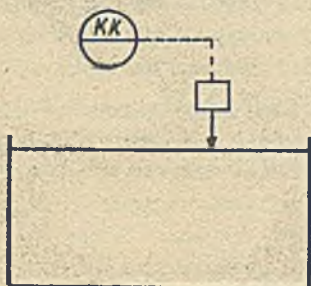
Najszerzej w literaturze opisywane są układy sterowania stężeniem tlenu rozpuszczonego w ściekach, np. w [4],[7],[8],[9],[10],[11],[12],[13]. Utrzymanie w określonych granicach /ok. 1-2 g/m<sup>3</sup>/ stężenie tlenu zapewnia najlepsze warunki dla rozwoju mikroorganizmów. Ponieważ zużycie tlenu zależy od doprowadzonego ładunku zanieczyszczeń, więc pracę urządzeń



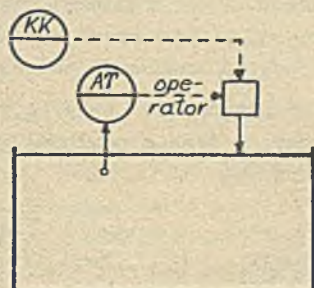
napowietrzających należy dopasować do zmian tego ładunku. W zwykłych oczyszczalniach biologicznych  $\frac{3}{4}$  całego zużycia energii /a w przypadku oczyszczalni z nityfikacją nawet 90 %/ potrzebne jest na doprowadzenie tlenu do ścieków. Poprzez sterowanie dopływu tlenu można zaoszczędzić 10-20 % tej energii. Stąd tak duże zainteresowanie sterowaniem stężenia tlenu.

Sterowanie dopływem tlenu do ścieków można przeprowadzić różnymi sposobami, jak:

a/ Sterowanie czasowe /programowe/ /rys.3/. Zmiana pracy urządzeń napowietrzających następuje w zależności od wstępnie ustalonych doświadczalnie zmian zapotrzebowania tlenu. Zmiany zapotrzebowania tlenu są spowodowane głównie zmianami ładunku zanieczyszczeń, ale też zmianami aktywności biomasy, która z kolei zależy od temperatury, "pH", trucizn itp. Stąd wynika duża niedokładność tego rodzaju sterowania.



Rys.3. Sterowanie programowe

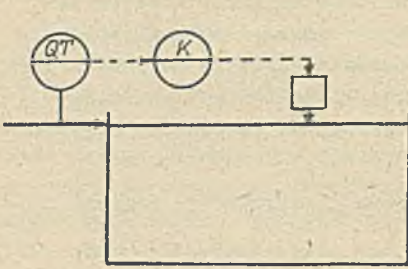


Rys.4. Sterowanie programowe z ręczną korektą

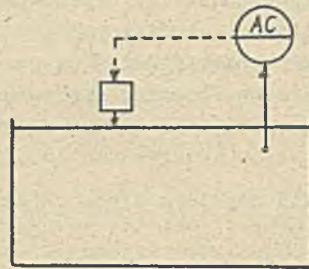
b/ Sterowanie czasowe z ręczną korektą od pomiaru stężenia tlenu /rys.4/. Przebiega podobnie jak poprzednie, z tym że obsługa może korygować pracę urządzeń napowietrzających w zależności od wyników pomiarów. Aby w ten sposób nastąpiło poprawienie sterowania, wymagana jest obecność i częste interwencje obsługi.

c/ Kompensacja zakłóceń /rys.5/. Należy mierzyć najbardziej istotne zakłócenia, jak dopływ ścieków i stężenie zanieczyszczeń i w zależności od nich zmieniać pracę urządzeń napowietrzających. Sposób ten wymaga pomiarów przepływu i stężenia zanieczyszczeń i posiada znane mankamenty układów kompensacji zakłóceń.





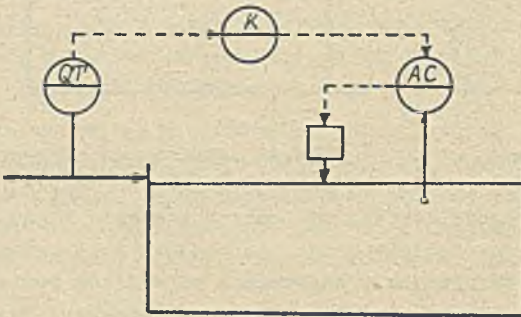
Rys.5. Kompensacja zakłócenia



Rys.6. Regulacja

d/ Regulacja /rys.6/ W zależności od stężenia tlenu mierzonego w odpowiednio dobranym punkcie, regulator zmienia pracę urządzeń napowietrzających. W najprostszym przypadku rolę regulatora może spełniać człowiek. Gdy w komorach napowietrzania występuje przepływ tłokowy, mogą wystąpić trudności związane z dużymi czasami martwymi.

e/ Układ zamknięto-otwarty /rys.7/. Układ taki łączy zalety układów c/ i d/, wymaga jednak pomiarów stężenia tlenu, przepływu i stężenia zanieczyszczeń.



Rys.7. Układ zamknięto-otwarty

W przedstawionych układach istotnym problemem jest umiejscowienie pomiaru stężenia tlenu. Szczególnie ważne jest to dla komór napowietrzania o przepływie tłokowym /rowów cyrkulacyjnych/. Można też w takim przypadku zastosować układ regulacji kaskadowej. Niekiedy, gdy wymagany jest odpowiedni rozkład stężeń wzdłuż komory /przy nityfikacji i denityfikacji/, należy stosować kilka oddzielnych układów regulacji.

W literaturze spotyka się także często opisy układów sterowania stężenia osadu czynnego w komorze napowietrzania [7] [8] [11] [13] [14]. W zależności od wyników pomiarów wielkości zastępczych dla stężenia osadu /sucha substancja, mętność/ proponuje się oddziaływać na przepływ osadu

w zawrocie lub na odciąg osadu nadmiernego. Są tu możliwe podobne rodzaje układów sterowania jak dla sterowania stężeniem tlenu. W [15] rozpatruje się teoretycznie możliwość oddziaływania na przepływ zawrotu w zależności od kombinacji dwóch wielkości: stężenia osadu czynnego w komorze napowietrzania i stężenia zanieczyszczeń na wylocie z komory napowietrzania.

Utrzymanie stałego stężenia w komorze napowietrzania nie jest najlepszym rozwiązaniem. Jeżeli na dopływie rośnie stężenie zanieczyszczeń, to z powodu zwiększonej produkcji osadu czynnego zwiększa się jego stężenie. Wzrostowi stężenia zapobiega jednak układ regulacji stężenia. Następuje większy odciąg osadu, który byłby potrzebny do rozkładu zwiększonej ilości zanieczyszczeń. Właściwszym rozwiązaniem jest utrzymanie stałego obciążenia osadu czynnego [8], [11], [12], [14], [16], [17]. Obciążenie osadu jest stosunkiem dopływającego do komory napowietrzania ładunku zanieczyszczeń w jednostce czasu do znajdującej się w komorze masy osadu czynnego.

W niektórych oczyszczalniach można wykorzystać zbiorniki buforowe do wyrównania obciążenia. Próbuje się też wykorzystać w tym celu pojemność sieci kanalizacyjnej, co jednak zwiększa odkładanie się zanieczyszczeń w tej sieci [7].

Stale obciążenie osadu przy zmieniającym się dopływie zanieczyszczeń można uzyskać przez zmianę stężenia osadu czynnego lub przez zmianę czasu przebywania w strefie reakcji /objętości reakcji/. W [16] podano, że przez zmiany przepływu zawrotu tylko w niewielkim stopniu można wpływać na stężenie osadu w komorze napowietrzania. Ponieważ zmiany dopływu zanieczyszczeń są często duże, znaczne też musiałyby być zmiany przepływu zawrotu pobieranego z osadnika wtórnego. Jednak stężenie osadu w zawrocie zależy silnie od warunków hydraulicznych panujących w osadniku. Zbyt duże zwiększenie zawrotu powoduje zmniejszenie stężenia osadu. Ponadto stężenie osadu czynnego w komorze napowietrzania zmienia się z dużym opóźnieniem za zmianami przepływu zawrotu. W [16] proponuje się dopasowanie oczyszczalni do zmian dopływu zanieczyszczeń przez zmianę liczby równoległe pracujących komór napowietrzania. Wykonuje się też próby magazynowania osadu czynnego w osobnych zbiornikach, co umożliwi praktycznie natychmiastowe zwiększenie stężenia osadu w komorze napowietrzania [8] [11].

#### 4. Zakończenie

Praktyczne sprawdzenie przydatności przynajmniej niektórych z przedstawionych wyżej ukłauów sterowania jest prawie niemożliwe. Wynika to zarówno z braku odpowiedniego wyposażenia pomiarowego w oczyszczalniach, jak i często-technicznego braku możliwości wprowadzania zmian wielkości sterujących. Proponuje się więc dla wstępnej oceny poszczególnych sposobów sterowania metodą modelowania cyfrowego. Za pomocą modelu właściwości dynamicznych biologicznej oczyszczalni ścieków przewiduje się porównać te układy sterowania dla określonych okresów pomiarów, czasu wykonywania



pomiarów i dokładności pomiarów. Oczywiście należy tu się liczyć z niedo-  
godnościami tego rodzaju postępowania, wynikającymi głównie z niedokład-  
ności modelu.

## LITERATURA

- [1] Kozaczewski R.: Urządzenia do pomiarów poziomu, przepływu i uwod-  
nienia w gospodarce wodno-ściekowej. Opracowanie CTK, Warszawa 1977.
- [2] Kozaczewski R.: Szacunkowe zapotrzebowanie na aparaturę kontrol-  
no-pomiarową do kompleksowej automatyzacji obiektów wodno-ścieko-  
wych. Opracowanie CTK, Warszawa 1977.
- [3] Zuzok J.: Aparatura kontrolno-pomiarowa dla potrzeb gospodarowa-  
nia wodą. ZN Politechniki Śl., seria Automatyka Z-60, 1981.
- [4] Arnold A. i inni: Sauerstoffkonzentrationmessung Regelung und  
Steuerung der Sauerstoffzufuhr. Korrespondenz Abwasser 1979 nr 2.
- [5] Wilderer P., Dietzel F., Hartmann L.: Zur Biotechnologie des Be-  
lebtschlammverfahrens. gwf - wasser/abwasser /116/ 1975 nr 7.
- [6] Voigts G.: Möglichkeiten der Respirationsmessung. gwf - wasser/  
/abwasser /120/ 1979 nr 5.
- [7] Schlegel S.: Automatisierung des Belebtschlammprozesses mittels  
Regelung des Sauerstoffeintrags und des Überschussschlammabzuges.  
Korrespondenz Abwasser 1977 nr 12.
- [8] Hruschka H.: Automatisierung des Belebungsverfahrens - bestehende  
Möglichkeiten und Entwicklungen. gwf - wasser/abwasser /121/  
1980 nr 9.
- [9] Gente W.K., Roesler J.F., Bucken B.D.: Case histories of auto-  
matic control of dissolved oxygen. JWPCF 19878 nr 10.
- [10] Soldaty A.: Model matematyczny i koncepcja sterowania procesem  
napowietrzania ścieków. Praca dyplomowa. Politechnika Krakowska.
- [11] Cheruy A.: Sur la commande automatique des stations d'épuration  
biologique des eaux, RAIRO-Automatique Vol.15, 1981 nr 4.
- [12] Hegemann W.: Mathematische Modelle zur Prozesssteuerung von Bele-  
bungsanlagen - eine Bestandsaufnahme. gwf - wasser/abwasser /118/  
1977 nr 3.
- [13] Lohmann J.: Automatisierung von Klaranlagen, Wasser und Boden  
1979 nr 11.



- [14] Wilk A.: Kinetische Modelle des Belebtschlammverfahrens.  
R. Oldenburg München 1976.
- [15] Marr G., Hruschka H.: Das mathematische Modell als Mittel zur Planung von Regel - und Messeinrichtungen in der Abwassertechnik.  
gwf - wasser/abwasser /119/ 1978 nr 12.
- [16] Wilderer P.: Optimierung und automatische Steuerung des Belebtschlammverfahrens. Vortrag am Symposium, Graz 1977.
- [17] Lenschow J.: Automatische Prozessführung im Bereich des Belebungsbeckens. Korrespondenz Abwasser 1976 nr 1.

ON THE POSSIBILITIES OF AUTOLATION OF SEWAGE TREATMENT  
INSTALLATION

Summary

A biological sewage treatment installation as a control plant is considered. The problems of measurement and control in sewage treatment systems are presented. The digital simulation is suggested as a method of evaluation of control system.

О НЕКОТОРЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ УПРАВЛЕНИЯ ОЧИСТНЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ

/ Резюме /

В работе представлено биологическую систему очистки сточных вод как объект управления. Описаны некоторые задачи по измерению и управлению для системы по очистке сточных вод. Для нахождения предварительной оценки системы управления предложено цифровое моделирование с использованием динамической модели системы по очистке сточных вод.