



POLSKA AKADEMIA NAUK
Instytut Badań Systemowych

BADANIA SYSTEMOWE
Inżynieria Środowiska

**KOMPUTEROWA SYMULACJA
I OPTYMALIZACJA MODELU
OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW**

Marcin Stachura

Warszawa 2008



**KOMPUTEROWA SYMULACJA
I OPTYMALIZACJA MODELU
OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW**

**POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH**

Seria: BADANIA SYSTEMOWE, tom 59

Redaktor naukowy: prof. Jakub Gutenbaum

Podseria: Inżynieria Środowiska

Warszawa 2008

**KOMPUTEROWA SYMULACJA
I OPTYMALIZACJA MODELU
OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW**

Marcin Stachura

Publikacja wydana ze środków projektu badawczego MINISTERSTWA NAUKI i SZKOLNICTWA WYŻSZEGO: nr R11 001 01.

W pracy omówiono sposób konstruowania modelu matematycznego dla oczyszczalni ścieków z osadem czynnym z wykorzystaniem bilansowych równań różniczkowych zwyczajnych, wynikających z zasad zachowania masy i podstawowych zależności kinetycznych i stechiometrycznych zachodzących przemian i procesów fizycznych w obiektach technicznych oczyszczalni. Równania różniczkowe opisują dynamikę procesu a występujące w równaniach współczynniki mają interpretację fizyczną. Koncepcja przedstawionego sposobu konstrukcji modelu matematycznego polega na opracowaniu modelu mogącego być pożytecznym narzędziem wspomagającym pracę operatora procesu technologicznego. Wobec tego opracowywany model opisuje konkretną i ograniczoną grupę obiektów a proces modelowania uwzględnia również kalibrację modelu na podstawie rzeczywistych pomiarów. Dzięki takiemu podejściu utworzony model matematyczny staje się przybliżeniem konkretnego obiektu i może być użyty do jego badania, co jest niewątpliwie celem nadrzędnym modelowania matematycznego. Praca ma również na celu prezentację techniki */fast--prototyping/*, czyli szybkiego prototypowania przy pomocy komputera wielowymiarowych procesów przemysłowych na przykładzie procesów zachodzących w mechaniczno--biologicznych oczyszczalniach ścieków. Pod pojęciem modelowania w pracy rozumie się zespół czynności obejmujących takie zagadnienia, jak: opracowanie modelu procesu w postaci układu równań różniczkowych (model fizyczny), implementację modelu w odpowiednim algorytmie komputerowym, kalibrację wraz z optymalizacją nieznanymi współczynników występujących w równaniach opisujących proces oraz analizę otrzymanych wyników.

Recenzenci:

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Janiszowski
Dr hab. inż. Janusz Łomotowski

Semi
Bibl. podręczna

45905

Komputerowa edycja tekstu: Anna Gostyńska

© Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa 2008

Instytut Badań Systemowych PAN
Newelska 6, PL 01-447 Warsaw

Sekcja Informacji Naukowej i Wydawnictw IBS PAN
e-mail: biblioteka@ibspan.waw.pl

ISBN 978-83-89475-15-2

ISSN 0208-8029

Druk i oprawa: ARTPRESS, tel. 052 354 95 10

9. Wnioski

W niniejszej pracy przedstawiono próbę budowy fizykalnego modelu procesów oczyszczania ścieków na przykładzie miejskiej oczyszczalni ścieków w Rzeszowie. W treści przedstawiono poszczególne etapy modelowania procesu począwszy od doboru opisu matematycznego, środowiska pracy, kalibracji nieznanymi współczynnikami występujących w modelu oraz ich optymalizacji. Uzyskane wyniki modelowania procesu oczyszczania odniesione zostały do wykonanej na rzeczywistym obiekcie szarzy pomiarowej. W tym celu zaproponowano odpowiednie wskaźniki błędów pomiędzy wartościami procesowymi zmierzonymi oraz generowanymi przez model.

Model procesu mechaniczno-biologicznego oczyszczania ścieków podzielono na mniejsze modele procesów zachodzących w poszczególnych elementach technologicznych oczyszczalni. Elementy te podzielono kolejno na strefy (komory). Dzięki zastosowanemu środowisku pracy (Pakiet *PExSim* systemu *AMandD*) prowadzono swobodny dobór liczby komór tak, aby jak najdokładniej odwzorować procesy technologiczne przy jednoczesnej minimalizacji struktury całego modelu.

Efekty pracy każdej oczyszczalni ścieków są inne, ze względu na różną charakterystykę ścieków napływających. Analiza przeprowadzonej szarzy pomiarowej dostarczyła niezbędnej wiedzy o procesie oraz o charakterze pracy oczyszczalni. Z przedstawionych danych wynika, że redukcji ulega wartość biologicznego zapotrzebowania tlenu oraz chemicznego zapotrzebowania tlenu, zawiesiny sedymentują do ok. 30% ich wartości pierwotnej, stężenia związków azotowych nie ulegają większym zmianom. Wyciągając wnioski z przedstawionych faktów można stwierdzić, iż można spróbować poprawić pracę procesu poprzez próbę większej redukcji związków azotowych, jeżeli jest to potrzebne.

Dopasowanie modelu do rzeczywistego procesu przeprowadzono dwustopniowo: po pierwsze, metodą ręcznej estymacji nieznanymi współczynników występujących w równaniach opisujących proces (*kalibracja*), oraz następnie estymacji automatycznej (*optymalizacja*). W czasie kalibracji modelu oszacowano funkcje wrażliwości zmiennych procesowych na parametry modelu (współczynniki występujące w równaniach matematycznych), co umożliwiło szybkie ich oszacowanie. Dodatkowo, zaproponowano, aby w czasie dopasowywania modelu prowadzić jednocześnie optymalizację jego struktury, czyli zmianę liczby komór opisujących poszczególne elementy technologiczne. Jak wykazały przeprowadzone badania, podejście takie wydaje się być zasadne a wyniki modelowania można uznać za zadowalające.

Jednocześnie spośród przedstawionych metod optymalizacji wytypowano metody, które dla zaproponowanych funkcji celu okazały się być najbardziej skuteczne: bezgradientowa metoda kierunków sprzężonych *Powella* (P1), metoda gradientów sprzężonych *Polaka-Riebery* (PR) oraz metoda zmiennej metryki *Davidona-Fletcher-Powella* (DFP). Należałoby podkreślić, iż zastosowane metody nie rozpoczynały swoich procedur z dowolnie wybranego punktu startowego, a z leżącego w okolicach punktu dobranego metodą *kalibracji*. Takie podejście daje dużą szansę na to, że znalezione w czasie optymalizacji współczynniki będą mieściły się w granicach wartości literaturowych, mających rozsądną interpretację fizyczną. W innym przypadku, tzn. startując z dowolnego punktu, możliwe jest bardzo dobre wpasowanie modelu do danych rzeczywistych, lecz przy współczynnikach, które z punktu widzenia biomechaniki procesu są niedopuszczalne.

Uzyskany model osadnika wstępnego, przy wartości błędów średnich nie przekraczających 15%–20% maksymalnych wartości procesowych zmierzonych, można przy aktualnym opomiarowaniu obiektu uznać za zadowalający. Istotny jest również fakt, że zmiany poszczególnych wartości procesowych generowane przez model odzwierciedlają zmiany wartości rzeczywistych (tzn. wzrostom wartości rzeczywistych towarzyszą wzrosty wartości generowanych przez model, a spadkom spadki). Można więc wnioskować, że dynamika procesu została opisana poprawnie.

Wyniki modelowania całego procesu, przy wartości błędów średnich nie przekraczających 15% maksymalnych wartości średnich zmierzonych, również można uznać za zadowalające. Ważnym zauważeniem wydaje się fakt, iż dzięki zastosowaniu metod optymalizacji modelu procesy błędy średnie zmalały tylko o ok. 3%. Co istotne, rozkład błędów znacząco się poprawił, co odzwierciedla malejąca ich wariancja.

Należałoby również podkreślić, że w przeszłości podejmowane były próby kalibracji modelu przedstawionego obiektu (Bogdan i in., 2000A, 2000B; Studziński, 2004), jednakże były one wykonywane w oparciu o tzw. *dobę uśrednioną*. Zabieg ten polegał na podzieleniu całej szarży pomiarowej na poszczególne doby, a następnie uśrednienie pomiarów z poszczególnych godzin. Doświadczenia zdobyte przez zespół opracowujący ww. koncepcję modelowania procesów mechaniczno-biologicznego oczyszczania ścieków były bazą dla badań prowadzonych w ramach niniejszej pracy, a wysunięte wnioski znacznie skróciły czas pracy.

Oczywiście, wyniki modelowania tak przygotowanych danych były lepsze od przedstawionych w niniejszej pracy (zmniejszyła się wariancja zmian poprzez uśrednienie na zbiorze 14 realizacji). Jednakże taki model daje tylko ogólne i średnie informacje o procesach zachodzących w oczyszczalni. Można zaryzykować stwierdzenie, że taki zabieg właściwie prowadzi do określenia statycznego punktu pracy i bardzo trudno na tej podstawie wnioskować o poprawności doboru współczynników modelu, zwłaszcza tych, które określają prędkości zmian. Ponadto, wykorzy-

stanie tak zbudowanego modelu do zadania sterowania obiektem jest bardzo ograniczone.

Wyznaczony model procesu jest opisany równaniami bilansowymi, więc wszystkie jego parametry mają interpretację fizyczną. Jest to z jednej strony zaleta, gdyż ułatwia to zrozumienie charakteru pracy badanego obiektu, ale też wada, ponieważ dopasowanie modelu do rzeczywistego procesu nie jest zadaniem łatwym. Ponadto model fizyczny może być obciążony błędami a nawet nie uwzględniać pewnych zachowań obiektu, gdyż wielokrotnie, w fazie opracowywania aparatu matematycznego opisującego proces, dokonuje się przybliżeń i arbitralnych decyzji, które niekoniecznie muszą być słuszne.

Kolejnym etapem badań powinno być opracowanie modelu parametrycznego na podstawie nowego eksperymentu oraz porównanie jego dynamiki z opracowanym modelem fizycznym. Dzięki takiemu modelowi można uzyskać informacje interesujące, z punktu widzenia projektowania układu regulacji automatycznej dla procesu oczyszczania ścieków, za pomocą regulacji: strumienia powietrza natleniającego zbiorniki oraz strumienia medium zwracanego.

Na zakończenie chciałbym podziękować prof. Janowi Studzińskiemu za pomoc i cenne uwagi, bez których wykonanie tej pracy byłoby niemożliwe, oraz recenzentom: prof. Krzysztofowi Janiszowskiemu oraz prof. Januszowi Łomotowskiemu za komentarze, które pozwoliły uczynić pracę bardziej przejrzystą i zrozumiałą.

Dodatkowo chciałbym podkreślić, że wyniki zostały uzyskane dzięki zastosowaniu modułu obliczeniowego *PExSim*, który został opracowany w ramach umowy nr PW-004/03/2005/8/UW-2005 zawartej z Instytutem Technologii Eksploatacji w Radomiu. Moduł *PExSim* zdecydowanie przyspieszył i ułatwił opracowanie wyników i dopasowanie modelu oraz umożliwił obróbkę danych.

IBS PAN *Sená*

45905

Bibl. podręczna

ISBN 978-83-89475-15-2
ISSN 0208-8029
