

РАЗМИТО УПРАВЛЕНИЕ НА ПРОЦЕСИТЕ НА БИОЛОГИЧНО ПРЕЧИСТВАНЕ НА ОТПАДЪЧНИ ВОДИ

нс. ктн. Олга Илиева Георгиева*, ст. нс. ктн. Атанас Николов Паскалев**

*Институт по управление и системни изследвания - БАН

**ЦЕСИ- Консулт ЕООД, София

Abstract

The basic problem of the good operation of an activated sludge plant is the providing of desire quality of the effluent in accordance with the sanitary standards. The problem is summarized as a control design task. The solution is run into few difficulties and limitations as the processes are rather complex, unpredictable and hence difficult from a control design point of view. Because of that the control decision is defined in accordance with the human thinking under the mathematical apparatus closed to that thinking and based on the fuzzy sets and systems theory.

The paper presents an algorithm of the optimal control of an activated sludge waste water treatment plant based on the intelligent strategy and realized using fuzzy theory. The current measurements of the input variables - foot/mass ratio, respiration rate and 5 minute settling volume are used to define the current level of the output variables (sludge conditioning time, return sludge flow and waste sludge flow) holding the process in the optimal working area.

Увод

Основният проблем на експлоатацията на пречиствателните станции е осигуряването на определено качество на изходящите води в съответствие със санитарните норми. Така формулирана това е задача на управлението, решението на която се сблъска с редица трудности и ограничения. Вниманието на изследователите се концентрира главно върху системата биобасейн-вторичен утайтел, където се осъществява биологичното пречистване на водите и където процесите са най-сложни, непредвидими и следователно, трудни за управление, дори само в случая на отстраняване на въглерод съдържащите вещества. Отбелязва се необходимостта да се следят множество параметри, дефиниращи качеството на водите и състоянието на микроорганизмите, за да се гарантира задоволително ниво на пречистване по биологично потребен кислород (БПК₅). Процесите са сложна съвкупност от физически, химически и биологически взаимодействия и превръщания, често с ненапълно изяснен механизъм на действие. Липсата на надежни датчици за някои основни биологични променливи също затруднява прилагането на стандартни теоретични подходи за анализ и синтез на управление.

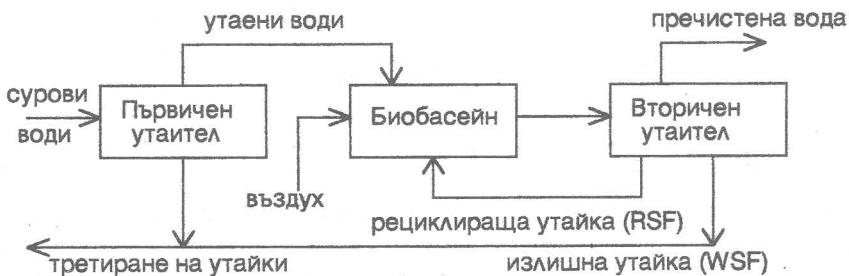
Често операторите на процеса сами се ориентират в нормалните и ненормалните условия на работа. При това те се базират на своя опит, на натрупаните данни и знания за процесите, както и на

непосредствените визуални наблюдения. Формулираните управленчески решения са в съответствие с човешкия начин на мислене, което предполага използване на математически апарат, близък на това мислене. Такъв инструмент е теорията на размитите множества, към която в последните години се обърнаха редица проектанти и изследователи на процесите на пречистване на отпадъчни води [2,3,4].

Статията представя алгоритъм за управление на биологичото пречистване с активна утайка, който се базира на оперативната стратегия, предложена от Joyce, Ortmann и Zickefoose [1] и реализирана с апарат на теорията на размитите множества.

Стратегия за размито управление

Разглежда се основната схема на биологичното пречистване на отпадъчни води (Фиг.1). Утаената сурова (непречистена) вода се обработва в биобасейн с активна утайка, след което вторично се утаява и пречистена се зауства. Натрупаната утайка се извежда за рециклиране и третиране.



Фиг.1 Обща схема на системата биобасейн - вторичен утайтел

Конкретната цел на управлението се формулира по следния начин: Да се предложи подход за интелигентно управление на процеса така, че по текущите измервания и оценки за нивото на основните входни променливи:

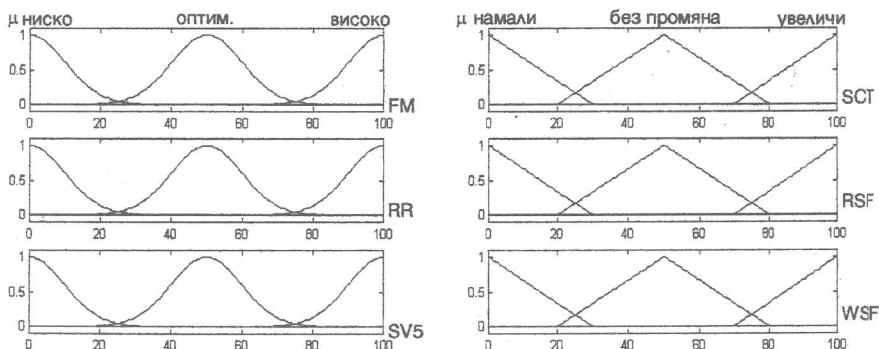
- 1) Натоварване на биобасейна т.е. отношение субстрат/биомаса (F/M);
- 2) Скорост на кислородно потребление (RR);
- 3) Петминутен обем на утайката (SV_5) във вторичния утайтел, даващи най-пълна представа за състоянието на процеса, стойността на изходните променливи: 1) Време за подобряване на утайката (SCT); 2) Количество на рециклираща утайка (RSF); 3) Количество на излишната утайка (WSF) да се поддържа в оптимална работна област.

Промяната на нивото на една входна променлива води до изменение на повече от една изходна променлива. Затова управляващата стратегия се базира на условна матрица (матрица на отношенията) (Фиг.2), описана с размити правила от вида :

Ако FM е U_1 и RR е U_2 и SV5 е U_3 , то SCT е Y_1 и RSF е Y_2 и WSF е Y_3 , където $U_1, U_2, U_3, Y_1, Y_2, Y_3$ са размити множества. Трите входни променливи, "формиращи" ръбовете на куба (Фиг.2) са представени като лингвистични променливи с по три размити множества - "ниско", "оптимално", "високо" (Фиг.3а). Стойността на необходимото изменение на изходните променливи също е описано лингвистично с по три размити множества: "намаление", "без промяна" и "увеличение" (Фиг.3б). Попълването на матрицата на отношенията със стойностите на изходните променливи се основава на база данни от 27 размити правила, съставени с използването на основни закономерности и зависимости на процесите на пречистване [1]. Така целта на управлението се конкретизира като задача за поддържане на променливите на процеса на пречистване в оптималната размита област, което означава състоянието на процеса да се задържа в центъра на куба (състояние 14).

			25	26	27	
			22	23	24	27
			19	20	21	24
	SV5	ВИСОКО	19	20	21	21
		ОПТИМ.	10	11	12	12
		НИСКО	1	2	3	3
			НИСКО	ОПТИМ.	ВИСОКО	НИСКО
						RR
						F/M

Фиг.2 Матрица на входно-изходните отношения



Фиг.3 Функции на принадлежност на входните и изходните променливи в нормиран интервал

Алгоритъм за размито управление

Предложеният управляващ алгоритъм следва процедурата за размит логически извод:

1) Оценка на входните променливи по текущи измервания за входния средно деновощен дебит Q , биологично потребен кислород за 5 деновощения БПК₅, концентрация на разтворения в средата кислород DO:

$$a) F/M = \frac{БПК_5 Q}{V K_1}, \quad (1)$$

където V е обемът на биобасейна, K_1 - концентрация на биомаса в биобасейна;

$$b) RR = \frac{\frac{DO_0 - DO_6}{6}}{MLSS} \cdot 60, \quad (2)$$

където MLSS е количеството супспендирани твърди вещества в средата;

в) SV₅ - измерен обем на активната утайка от проба от вторичния утайтел след 5 минутно утаяване.

2) Представяне на входните стойности в размит вид:

а) Нормиране на входните и изходните променливи в допустимите им граници на изменение:

$$x_i = \frac{(x_{i\text{изм}} - x_{i\text{min}})}{(x_{i\text{max}} - x_{i\text{min}})}, \quad i=1,6, \quad (3)$$

където $x_{i\text{изм}}$ е текущо измерена (оценена) стойност на i -та променлива, а минималната $x_{i\text{min}}$ и максималната $x_{i\text{max}}$ стойност на всяка променлива са дадени в Таблица 1:

Таблица 1

Променлива	Миним. стойност $x_{i\text{min}}$	Максим. стойност $x_{i\text{max}}$
F/M (gm/kg/h)	0.03	0.5
RR (mg O ₂ /h/gm)	1	40
SV ₅ (mg/l)	50	500
SCT (h)	25	75
RSF (m ³ /h)	10	200
WSF (m ³ /h)	5	50

б) На всяка нормирана входна стойност се съпоставя степен на принадлежност $\mu \in [0,1]$ за съответните размити множества (Фиг.3а).

3) Формализиране на размитите правила, описващи всичките 27 възможни състояния от матрицата на отношенията. Операциите между размитите променливи "и (and)" и "следва (then)" се приемат като min операция, а "или (or)" - max операция. Изборът на съответна T-норма и S-

норма, както и точният вид на функциите на принадлежност, не е единствен и подлежи на настройка в off-line режим.

4) Прилага се правилото за логически извод, основано на max-min композицията за получаване на размита изходна стойност.

5) Получаване на точна изходна стойност u_{izx} , $i = 1, 3$

а) Прилагане на правилото "център на тежестта":

$$u_{izx} = \frac{\sum \mu_k u_{ik}}{\sum \mu_k}, \quad k - \text{брой точки.} \quad (4)$$

б) Денормиране на изходната стойност за получаване на реална изходна стойност с използване на данните от Таблица 1:

$$y_i = u_{izx}(Y_{imax} - Y_{imin}) + Y_{imin}. \quad (5)$$

Резултати и коментар

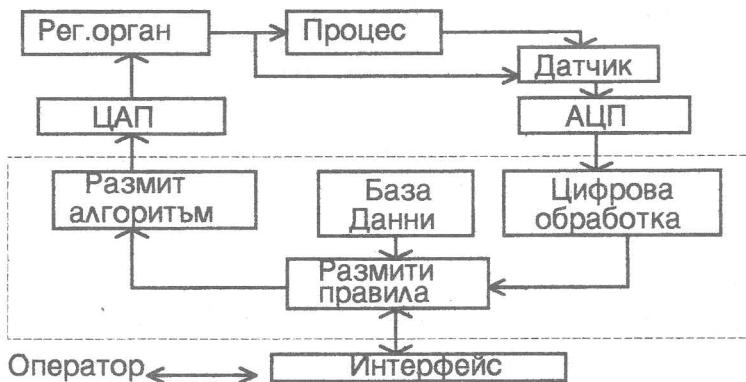
В Таблица 2 са представени симулационни данни, получени по представения алгоритъм за различни стойности на входните променливи.

Таблица 2.

FM		RR		SV5		SCT		RSF		WSF	
Нен орм	Нор мир	Нено рм	Нор мир								
0.04	2.13	3	5.13	59	2	29.9	9.84	28.7	9.84	45.6	90.2
0.1	14.9	10	23.1	130	17.8	40	30.1	75.9	34.7	41.4	81
0.2	36.2	30	74.4	200	33.3	54.2	58.3	106	50.7	27.7	50.4
0.07	8.51	35	87.2	220	37.8	69	88	32.7	11.9	27.5	50
0.45	89.4	20	48.7	60	2.2	50	50	179	89	27.5	50
0.23	42.6	21	51.3	225	38.9	50	50	105	50	27.5	50
0.5	100	37	92.3	487	97.1	69.9	89.7	29.5	10.2	27.5	50
0.5	100	40	100	500	100	70.2	90.3	28.4	9.7	27.5	50
0.05	4.25	15	35.9	100	11.1	50	49.9	176	87.4	44.5	87.7
0.4	78.7	5	10.3	100	11.1	32.1	14.2	172	85.5	28.5	52.2
0.2	36.2	25	61.5	300	55.6	50	50	105	49.9	27.5	50
0.08	10.6	5	10.3	346	65.8	12.8	31.4	12.8	34.4	50	27.5
0.28	54	35	87.2	83	7.33	88	69	88	178	50	27.5

Отбележва се добро покриване на отделните размити състояния, дефинирани в матрицата на отношенията, което е гаранция за възможността да се поддържа оптимален работен режим. На Фиг.4 е представена схема на система за интелигентно управление на процесите на биологично пречистване на отпадъчни води, реализирана на базата на разгледаната управляваща стратегия. Вниманието в

стията е концентрирано върху формирането на управляващите сигнали (блоковете, заградени с пунктир), а изграждането на връзките към регулиращите органи и датчиците е обект на следващо изследване и анализ.



Фиг.4 Система за интелигентно управление на процесите на пречистване на отпадъчни води

Заключение

Статията представя алгоритъм за оптимално управление на биологичното пречистване с активна утайка, базиращ се на интелигентна стратегия и реализирана с апарат на теорията на размитите множества. Текущите измервания на нивото на основните променливи на биологичното стъпало-натоварване на биобасейна, скорост на кислородно потребление, петминутен обем на утайката, се използват за формулиране на интелигентно оптимално решение за нивото на управляващите променливи - време за подобряване на утайката, количество на рециклираща утайка и количество на излишната утайка.

Литература:

1. Joyce R.J., C.Ortman, C.Zickefoose, How to Optimaze an Activated Sludge Plant, *Water and Sewage Work*, Oct., 1974
2. Hirota K., Industrial Applications of Fuzzy Technology, SpringerVerlag, 1993
3. Watanabe S. et al, Intelligent Operation Support System for Activated Sludge Process, *Water Sci. Technolodgy*, 1993, v.28, №11-12, 325-332
4. Enbutsu, et al, Integration of Multi AI Paradigms for Intelligent Operation Support Systems - Fuzzy Rule Extraction from a Neural Network, *Water Sci. Technolodgy*, 1993, v.28, №11-12, 333-340