

УДК 004.896

*И.А. Тарасова, Т.В. Феньо*Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
кафедра системного анализа и моделирования**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ
ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ****Аннотация**

Тарасова И.А., Феньо Т.В. Разработка системы нечеткого управления процессом обеззараживания хозяйственно-питьевой воды. В статье рассмотрена проблема управления процессом обеззараживания хозяйственно-питьевой воды. Описаны особенности процесса, разработана модель системы нечеткого управления процессом, проведен численный анализ разработанной модели.

Ключевые слова: нечеткое управление, модель системы, процесс обеззараживания воды.

Введение. Вода играет важнейшую роль в жизнедеятельности организма, недостаток которой усугубляется ухудшением её качества. Используемые в промышленности, сельском хозяйстве и в быту воды поступают обратно в водоёмы в виде плохо очищенных или вообще неочищенных стоков, что является главной причиной обострения проблемы пресной воды.

Поверхностные воды химические и физические параметры, меняющиеся в широких пределах. Кроме бактерий и вирусов, в них присутствуют возбудители паразитарных заболеваний. Очистка воды из таких источников традиционно включает в себя первичное хлорирование, коагуляцию, отстаивание, фильтрацию и заключительное хлорирование. На практике эффективность обеззараживания, в ряде случаев, пытаются обеспечить за счет увеличения доз хлора, значительно превышающих нормы. Однако и такие меры зачастую не обеспечивают необходимой степени инактивации вирусов, а подача первичного хлора в чрезмерно больших количествах является причиной возникновения хлорсодержащих органических соединений.

В настоящее время в мировой практике наметилась тенденция по полной либо частичной замене хлорирования на УФ-облучение. Наиболее распространенной установкой УФ обеззараживания воды является бактерицидная установка типа ОВ-150 [1]. Обработываемая вода поступает параллельно в три камеры установки, тщательно перемешивается и подвергается облучению с помощью УФ ламп, помещенных в защитные кварцевые чехлы. Обеззараженная вода, прошедшая через установку, предназначена для непосредственного потребления в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Постановка задачи. В обязанности обслуживающего персонала бактерицидной установки входит:

- а) определение качества воды по бактерицидному анализу;
- б) ручной расчет бактерицидного потока используемой лампы;
- в) расчет производительности установки по проведенному бактерицидному анализу и расчетным характеристикам ламп;
- г) использование пробковых кранов, задвижек в случае заполнения и освобождения воды в установке, а также при необходимости перенаправления воды в другие установки;
- д) контроль процесса обеззараживания воды путем:
 - визуального определения интенсивности ультрафиолетового излучения лампы через смотровое окно установки;
 - наблюдения за сигнальной лампой «Аварийное отключение».

Поскольку информация носит экспертный характер, для описания задачи управления целесообразно применить аппарат нечеткой логики.

Цель – улучшение качества хозяйственно-питьевой воды, за счет автоматизации процесса обеззараживания.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- а) разработка модели нечеткого управления процессом обеззараживания хозяйственно-питьевой воды;
- б) синтез этапов нечеткого вывода;
- в) численный анализ модели нечеткого управления.

Разработка модели нечеткого управления процессом обеззараживания хозяйственно-питьевой воды. С целью автоматизации процесса обеззараживания хозяйственно-питьевой воды, необходимо внести изменения в структуру системы управления установкой, введя блок нечеткого регулирования (см. рис. 1).

На рисунке 1 введены следующие обозначения:

- 1 - качество воды;
- 2 - потребность города в воде;
- 3 - время пребывания воды в установке;
- 4 - вода;
- 5 - очищенная вода;
- 6 - интенсивность УФ излучения.

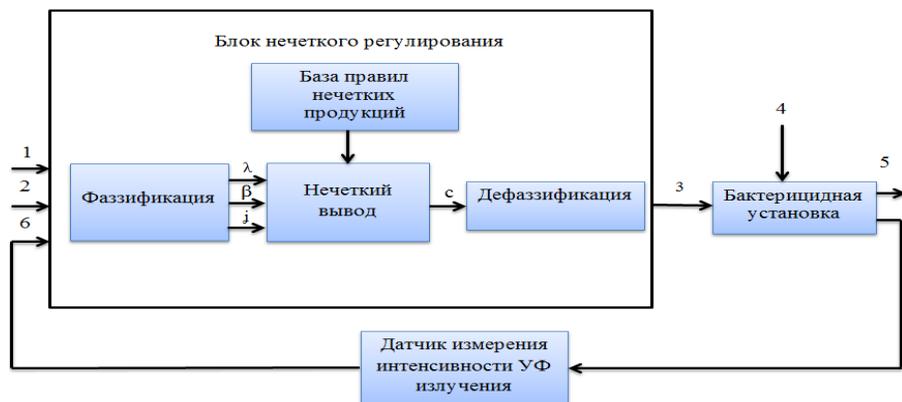


Рисунок 1 - Структура системы нечеткого управления

В рамках поставленной задачи используются следующие входные переменные:

- качество воды, поступающей в бактерицидную установку, которое на этапе фаззификации преобразуется в лингвистическую переменную λ ;
- уровень светового потока лампы, от которого зависит уровень сопротивления бактерий, преобразующийся на этапе фаззификации в лингвистическую переменную β ;
- потребность города в воде, которая на этапе фаззификации преобразуется в лингвистическую переменную j .

В блоке нечеткого регулирования проводится обработка значений входных переменных с использованием алгоритма нечеткого вывода, результатом которой является время пребывания воды в установке, представленное в виде лингвистической переменной c .

В качестве терм-множества лингвистической переменной λ используется множество $T_1 = \{\text{«очень хорошее»}, \text{«хорошее»}, \text{«нормальное»}, \text{«ниже нормы»}\}$ с функциями принадлежности, изображенными на рисунке 2. В качестве терм-множества лингвистической переменной β используется множество $T_2 = \{\text{«критическая»}, \text{«низкая»}, \text{«средняя»}, \text{«высокая»}\}$ с функциями принадлежности, изображенными на рисунке 3.

В качестве терм-множества лингвистической переменной j используется множество $T_3 = \{\text{«низкая»}, \text{«средняя»}, \text{«высокая»}\}$ с функциями принадлежности, изображенными на рисунке 4. В качестве терм-множества выходной лингвистической переменной c используется множество $T_4 = \{\text{«минимальное»}, \text{«среднее»}, \text{«высокое»}, \text{«максимальное»}\}$ с функциями принадлежности, изображенными на рисунке 5.

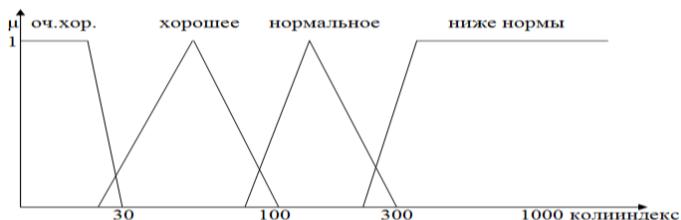


Рисунок 2 - График функций принадлежности для термов лингвистической переменной λ

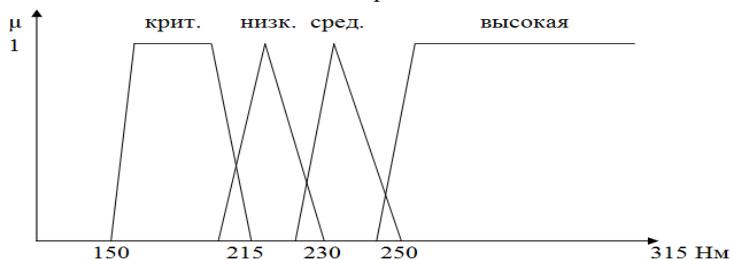


Рисунок 3 - График функций принадлежности для термов лингвистической переменной β

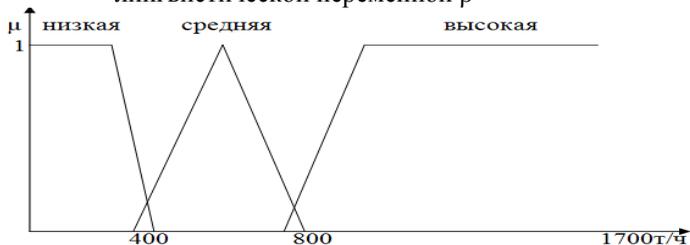


Рисунок 4 - График функций принадлежности для термов лингвистической переменной j

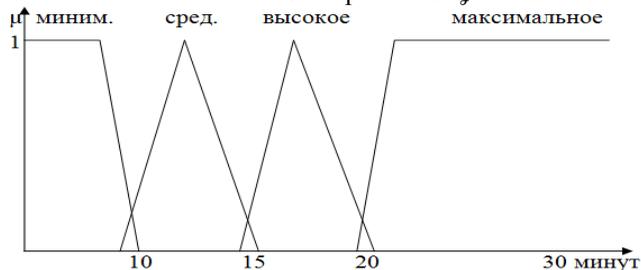


Рисунок 5 - График функций принадлежности для термов лингвистической переменной c

База правил нечетких продукций является конечным множеством правил нечетких продукций, согласованных относительно лингвистических

переменных, используемых в них. В данном случае система нечеткого вывода содержит 48 правил нечетких продукций. В качестве примера приведены следующие правила:

1. ЕСЛИ «качество воды очень хорошее» И «интенсивность УФ излучения критическая» И «потребность воды низкая», ТО «время пребывания воды среднее».
2. ЕСЛИ «качество воды нормальное» И «интенсивность УФ излучения критическая» И «потребность воды средняя», ТО «время пребывания воды высокое».
3. ЕСЛИ «качество воды хорошее» И «интенсивность УФ излучения высокая» И «потребность воды высокая», ТО «время пребывания воды минимальное».
4. ЕСЛИ «качество воды ниже нормы» И «интенсивность УФ излучения критическая» И «потребность воды низкая», ТО «время пребывания воды максимальное».
5. ЕСЛИ «качество воды ниже нормы» И «интенсивность УФ излучения высокая» И «потребность воды средняя», ТО «время пребывания воды высокое».

Модель нечеткого управления (рис. 1) строится с учетом необходимости реализации всех этапов нечеткого вывода, а сам процесс вывода реализуется на основе наиболее распространенного алгоритма нечеткого вывода – алгоритма Мамдани.

Реализация алгоритма Мамдани включает в себя выполнение следующих этапов [4].

Процедура фаззификации заключается в установлении соответствия между конкретным значением отдельной входной переменной системы нечеткого вывода и значением S_{ir} степени истинности i -го подусловия r -го правила на основе значения функции принадлежности соответствующего ей терма входной лингвистической переменной:

$$S_{ir} = \mu_{ik}(x_1), \quad (1)$$

где x_1 – значение входной переменной системы нечеткого вывода;

$\mu_{ik}(x_1)$ – функция принадлежности k -го терма, входящего в подусловие P_{ir}^{ik} .

Агрегирование представляет собой процедуру определения степени истинности условий S_r по каждому из правил системы нечеткого вывода на основе известных значений истинности подусловий. При этом для определения результата используется формула:

$$S_r = \min_i S_{ir}. \quad (2)$$

На этапе активизации для каждой из выходных лингвистических переменных, входящих в отдельные подзаключения правил нечетких продукций, определяются функции принадлежности нечетких множеств их значений.

Расчет значения функции принадлежности каждого из подзаклучений для рассматриваемых выходных лингвистических переменных осуществляется по формуле:

$$\mu_r^{zb}(y_z) = \min_j \{Z_{jr}^{zb}, \mu_{zb}(y_z)\}, \quad (3)$$

где $\mu_{zb}(y_z)$ – функция принадлежности b-того терма выходной переменной системы нечеткого вывода y_z ;

Z_{jr} – степень истинности каждого из подзаклучений, рассчитываемая по формуле:

$$Z_{jr} = S_r \cdot K_r, \quad (4)$$

где K_r – весовой коэффициент правила.

Этап аккумуляции заключается в том, чтобы объединить или аккумулятировать с использованием операции max-дизъюнкции все степени истинности заключений для получения функции принадлежности каждой из выходных переменных:

$$\mu_z^*(y_z) = \bigcup_{r=1}^p \bigcup_{b=1}^{q_z} \mu_r^{zb}(y_z). \quad (5)$$

Дефазификация заключается в том, чтобы, используя результаты аккумуляции выходной лингвистической переменной, получить обычное количественное значение выходной переменной:

$$y_z^* = \frac{\int_{\min}^{\max} y_z \cdot \mu_z^*(y_z) dy}{\int_{\min}^{\max} \mu_z^*(y_z) dy}, \quad (6)$$

где y_z – переменная, соответствующая выходной лингвистической переменной;

$\mu_z^*(y_z)$ – функция принадлежности нечеткого множества, соответствующего выходной переменной после этапа аккумуляции;

min и max – левая и правая точки интервала носителя нечеткого множества выходной переменной.

Программная реализация разработанной модели. Программная реализация алгоритма осуществлена в среде MATLAB [5]. Содержащая

специальные средства нечеткого моделирования, система MATLAB позволяет выполнять весь комплекс исследований по разработке и применению нечетких моделей. Задание лингвистических переменных и функций принадлежности их термов в графическом режиме, а также визуализация правил позволяют существенно уменьшить трудоемкость разработки нечеткой модели, снизить количество возможных ошибок и сократить общее время нечеткого моделирования.

Для построения нечеткой модели используется пакет нечеткой логики Fuzzy Logic (см. рис. 6).

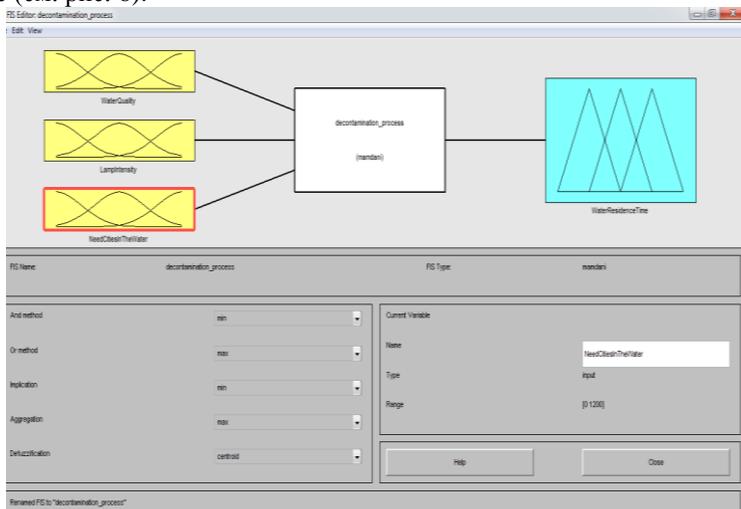


Рисунок 6 - Общий вид модели в пакете Fuzzy Logic

Численный анализ модели нечеткого управления. С целью установления адекватности разработанной модели нечеткого управления был проведен анализ результатов нечеткого вывода при различных значениях входных переменных (см. табл. 1).

Таблица 1 – Анализ результатов нечеткого вывода

	Входная переменная «Качество воды»	Входная переменная «Интенсивность УФ излучения»	Входная переменная «Потребность воды в городе»	Выходная переменная «Время пребывания воды»	Время пребывания воды
1	20	170	300	12	12.6
2	200	160	600	17	16.2
3	50	300	1500	4.93	5.18
4	700	160	270	25.5	24.3
5	500	270	650	15	14.3

Продолжение таблицы 1

6	1000	250	1000	7.15	7.5
7	100	200	500	17	16.15
8	350	290	750	10	9.7
10	30	310	800	8.7	8.3
11	800	210	1400	6.4	6.72
12	70	150	450	15	14.3
13	400	190	900	8.4	8
14	900	200	400	27	28.35
15	600	300	600	14	13.34

Незначительное отклонение результатов, рассчитанных системой, от принятых оператором установки решений по времени пребывания воды подтверждает адекватность разработанной модели нечеткого управления.

Выводы. Таким образом, на основе изучения технологии и особенностей процесса, разработана модель системы нечеткого управления, которая позволяет автоматизировать процесс обеззараживания хозяйственно-питьевой воды. Проведен синтез этапов нечеткого управления, а также численный анализ разработанной модели.

Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего совершенствования модели управления, с целью создания системы автоматизированного управления процессом обеззараживания хозяйственно-питьевой воды.

Литература

1. Стогний П.М. Нечеткое управление процессом обеззараживания воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения / П.М. Стогний, И.А. Тарасова // Материалы докладов VI международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, студентов «Современная информационная Украина: информатика, экономика, философия». Донецк, 26 апреля 2012 г. – Донецк : ИПИИ «Наука і освіта», 2012. – С. 226-229.
2. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / Леоненков А.В. – СПб. : БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
3. Борисов В.В. Нечеткие модели и сети / Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 284 с.
4. Шушура А. Н. Метод нечеткого управления на основе переменных с многомерными функциями принадлежности/Шушура А. Н., Тарасова И. А. // Искусственный интеллект. – 2010. – № 1. – С. 122-128.
5. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. / Штовба С.Д. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.